

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

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

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Нелинейные задачи строительной механики»

**Специальность** 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений

**Специализация:** Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений и Строительство подземных сооружений

**Квалификация выпускника** инженер-строитель

**Нормативный период обучения** 6 лет

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2018

Автор программы  /Аверин А.Н./

Заведующий кафедрой  
Строительной механики  /Козлов В.А./

Руководитель ОПОП  /Рогатнёв Ю.Ф./

Руководитель ОПОП  /Ким М.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 «Нелинейные задачи строительной механики» относится к дисциплинам обязательной части блока Б1.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Процесс изучения дисциплины «Нелинейные задачи строительной механики» направлен на формирование следующих компетенций:

УК-6 - Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки и образования в течение всей жизни.

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>
УК-6	<p>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.</p> <p>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).</p>

	Владеть: общими фундаментальными понятиями о различных видах нелинейностей конструкций и 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.
--	--

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Нелинейные задачи строительной механики» составляет 3 з.е.

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

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		8
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	50	50
В том числе:		
Лекции	34	34
Практические занятия (ПЗ)	16	16
<b>Самостоятельная работа</b>	58	58
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

#### 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 жёсткопластический материал. Аппроксимация экспериментальных кривых деформирования материалов. Геометрическая нелинейность, конструктивная нелинейность.	6	2	8	16
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.	6	2	10	18

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	6	2	10	18
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 методом квадратичного программирования.	6	2	10	18
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.	6	4	10	20
6	Основы метода конечных элементов(МКЭ) для решения нелинейных задач.	ПКВ 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.	4	4	10	18
<b>Итого</b>			<b>34</b>	<b>16</b>	<b>58</b>	<b>108</b>

## 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 Примеры индивидуальные задания.

**Пример 6.2.1** (РГР №1) Определить предельные нагрузки для стержневой системы (рис.6.2.1), работающей в упругопластической стадии. Материал системы подчиняется диаграмме Прандтля (рис.6.2.2).

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

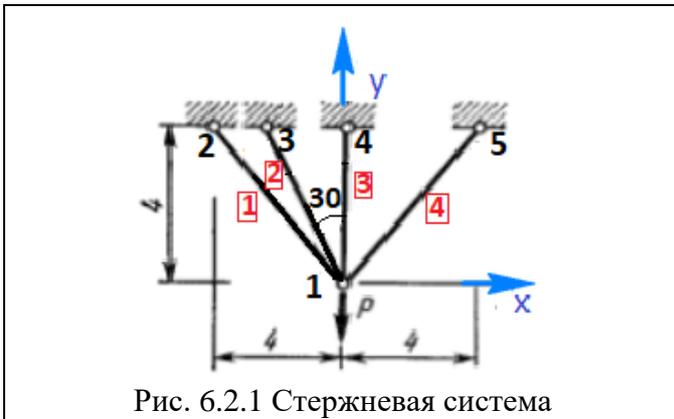


Рис. 6.2.1 Стержневая система

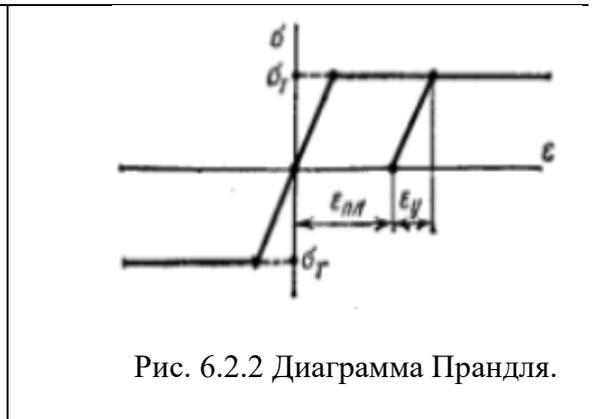


Рис. 6.2.2 Диаграмма Прандтля.

**Пример 6.2.2** (РГР №2) Определить предельную нагрузки для стержневой системы, работающей в упругопластической стадии (рис.6.2.2.1, рис. 6.2.2.2). Материал системы подчиняется диаграмме жесткопластического тела.

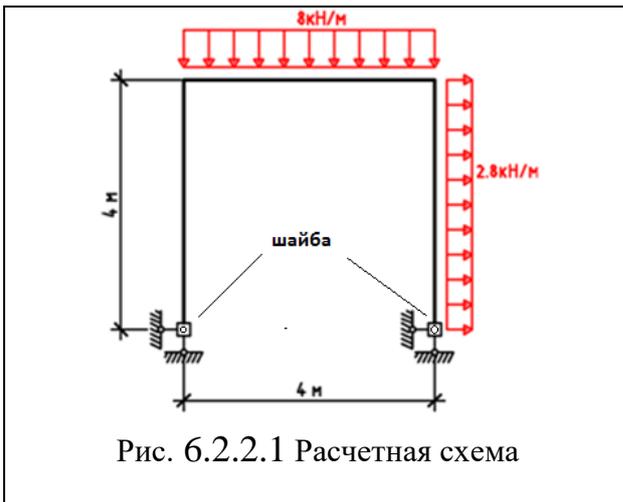


Рис. 6.2.2.1 Расчетная схема

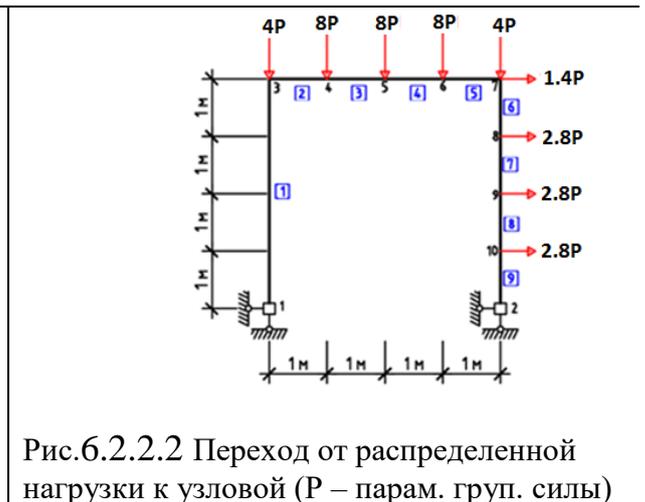
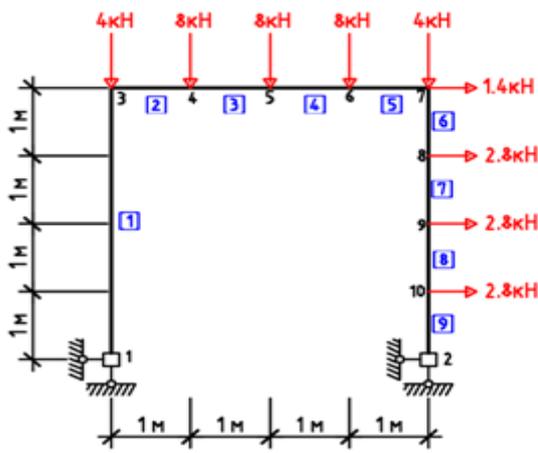


Рис.6.2.2.2 Переход от распределенной нагрузки к узловой (P – парам. групп. силы)



Расчетная схема

**Исходные данные**

Двутар №10  
 Площадь [м<sup>2</sup>];  
 Моменты инерции [м<sup>4</sup>];  
 Пластический момент сопротивления [м<sup>3</sup>]  
 $F_0 := 1.2 \cdot 10^{-3}$      $J_z := 1.98 \cdot 10^{-6}$      $J_y := 1.79 \cdot 10^{-7}$   
 $W_z := 4.6 \cdot 10^{-5}$   
 Предел текучести [кН/м<sup>2</sup>]     $\sigma_T := 240 \cdot 10^3$   
 Модуль упругости [кН/м<sup>2</sup>]     $E := 2 \cdot 10^8$   
 Предельный изгибающий момент [кНм]  
 $M_{T0} := \sigma_T \cdot W_z = 11.04$

Рис.6.2.2.3

**Пример 6.2.3 (РГР №3)** Расчет пространственной гибкой нити на действие сложной системы сил (рис.6.2.3.1; рис.6.2.3.2). Определить координаты узлов нити и усилия в звеньях.

Исходные данные:

Площадь поперечного сечения, модуль упругости, начальная длина

$$\frac{A}{\text{мм}^2} := 10 \quad E := 50 \quad \frac{L}{\text{мм}} := 2$$

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

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

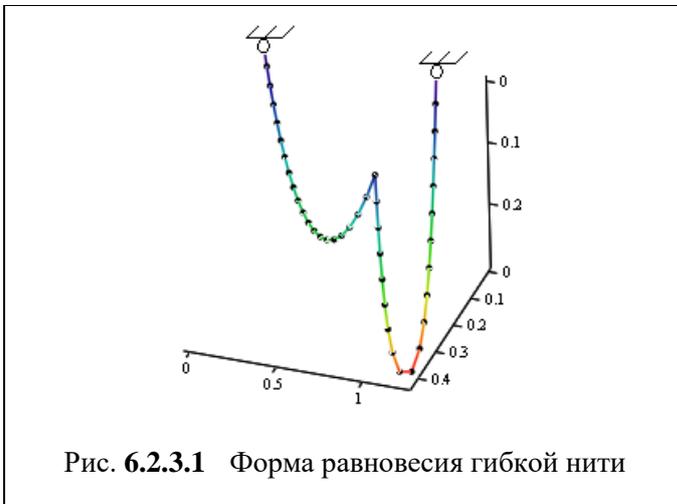


Рис. 6.2.3.1 Форма равновесия гибкой нити

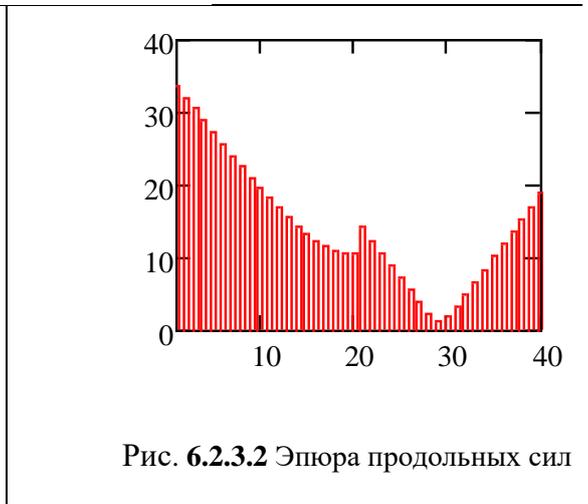


Рис. 6.2.3.2 Эпюра продольных сил

**Пример 6.2.4 (РГР №4)** Расчет прочности и жесткости вантовой фермы методом конечных элементов (МКЭ).

На рис. 6.2.4.1, рис. 6.2.4.2 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  $40\text{ м}$  стрелка  $3\text{ м}$ ). **Расчетная длина** отдельной нити задавалась меньше расстояния между узлами ее начала и конца. Приращение длины нити определялось так, чтобы предварительное натяжение в нити составляло  $100\text{кН}$ . Жесткость на растяжение растяжек  $EF_p=12\cdot 10^3\text{кН}$ .

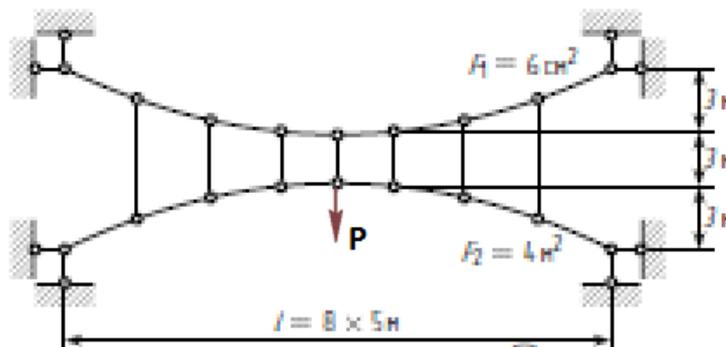


Рис. 6.2.4.1

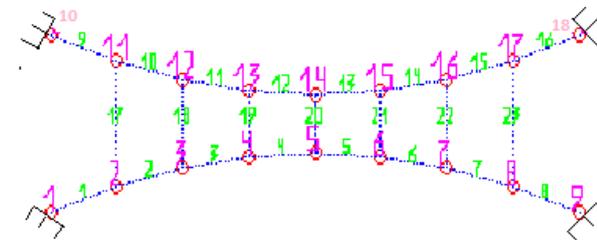


Рис. 6.2.4.2

## 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
УК-6	знать основные методы и практические приемы расчета реальных конструкций и их элементов в нелинейной постановке из различных материалов по	Расчетно-графические работы РГР №1,2. Зачет.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

предельным расчетным состояниям на различные воздействия			
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).	Расчетно-графические работы РГР №3. Зачет.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
Владеть общими фундаментальными понятиями о различных видах нелинейностей конструкций и 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.	Расчетно-графические работы РГР №4. Зачет.	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 8 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
УК-6	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	Решение стандартных практических задач в системе Mathcad	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	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).	Решение стандартных практических задач в системе Mathcad, Lira	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть: общими фундаментальными понятиями о различных видах нелинейностей конструкций и сооружений, способами и приемами	Решение прикладных задач в конкретной	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

<p>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.</p>	<p>предметной области в системе Mathcad, Lira</p>		
---	---	--	--

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типичные 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. Выполнить задания с использованием ручного счета и в системе инженерных расчетов Mathcad.

1.1 Записать систему уравнений в матричной форме

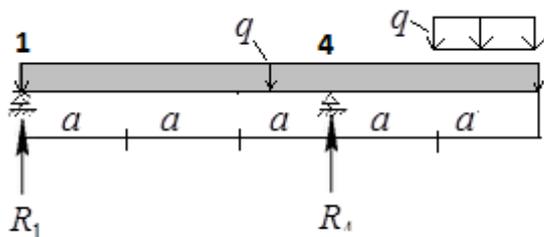
$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 = 2 \\ 2x_1 - x_2 - 6x_3 = -1 \\ 3x_1 - 2x_2 = 8 \end{cases}$$

1.2 Вычислить ранг и определитель матрицы А

1.3 Вычислить матрицу, обратную к матрице А методом Гаусса-Жордана

1.4 Решить систему уравнений  $Ax=b$  методом обратной матрицы и методом Гаусса, сделать проверку

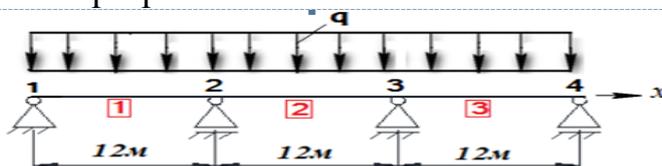
2. Для балки



$$a=2\text{м}; q=2\text{кН/м.} \quad R_1 = \frac{4}{3} \quad R_4 = \frac{68}{3}$$

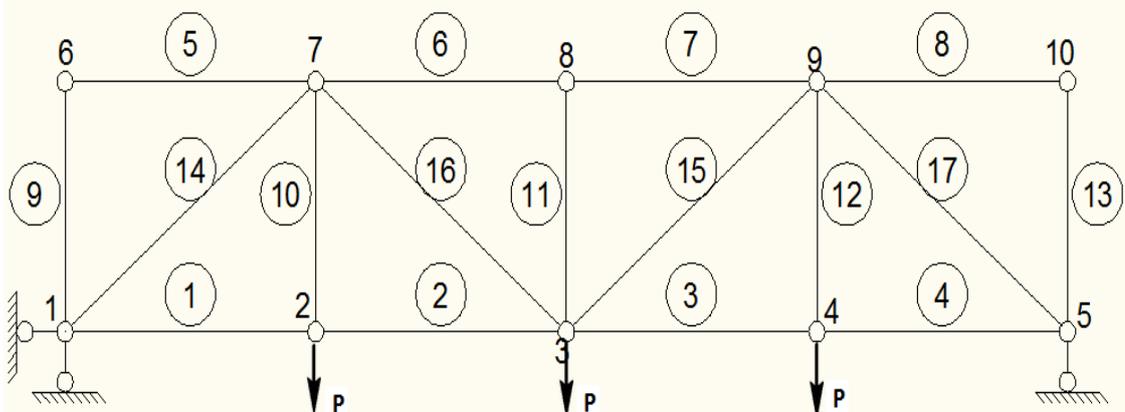
построить эпюру изгибающих моментов на основе программы Mathcad.

3. Выполнить расчет неразрезной балки



с помощью уравнений 3-х моментов в системе Mathcad и проверить результаты расчетов в ПК Лира ( $q=10\text{кН/м}$ ;  $EJ=6920\text{кНм}^2$ ).

4. Определить усилия в стержнях фермы и проверить результаты расчетов в ПК Лира



### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

5. Построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил в раме (рис.5). Расчеты провести в ПК Лира

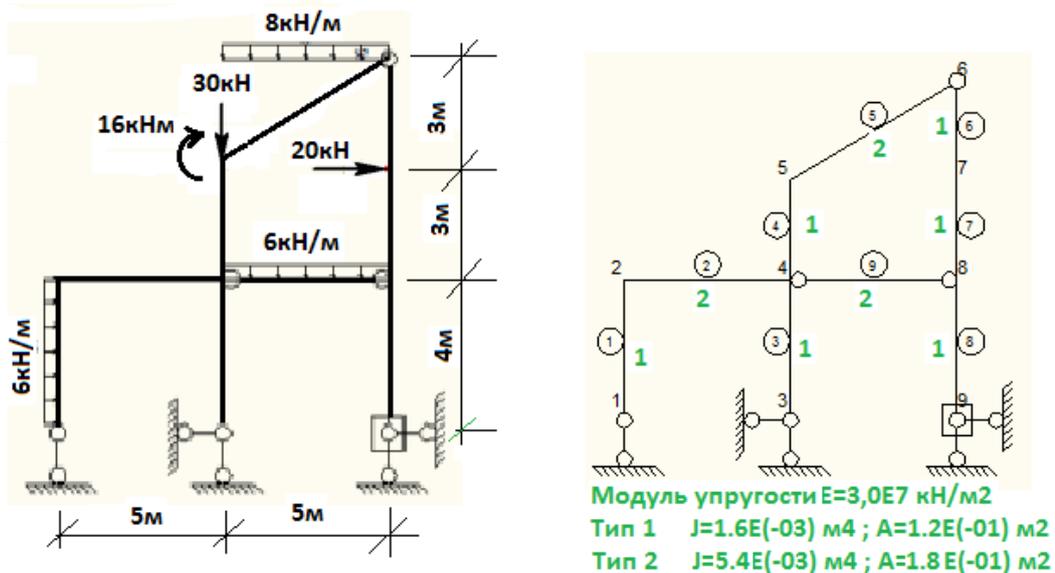


Рис.5

6. Расчет балочных систем с односторонними связями. На рис.6.1а представлена неразрезная балка с пятью двухсторонними опорами, а на рис.6.1 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.

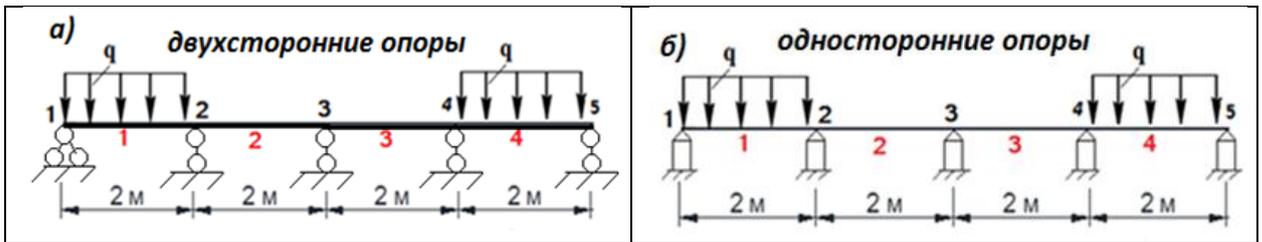


Рис. 6.1

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

6. Определить предельные нагрузки для стержневой системы (рис.6.1), работающей в упругопластической стадии. Материал системы подчиняется диаграмме Прандтля (рис.6.2).

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

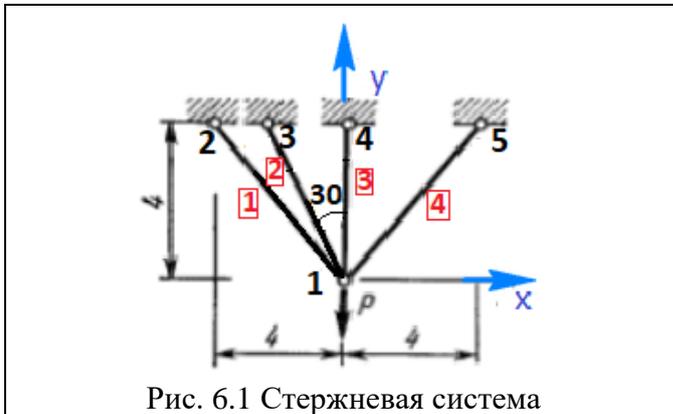


Рис. 6.1 Стержневая система

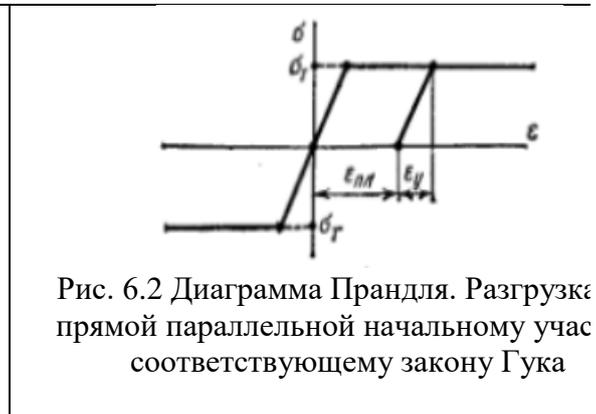


Рис. 6.2 Диаграмма Прандтля. Разгрузка прямой параллельной начальному участку соответствующему закону Гука

7. Определить предельную нагрузки для стержневой системы, работающей в упругопластической стадии (рис.7.1, рис. 7.2). Материал системы подчиняется диаграмме жесткопластического тела.

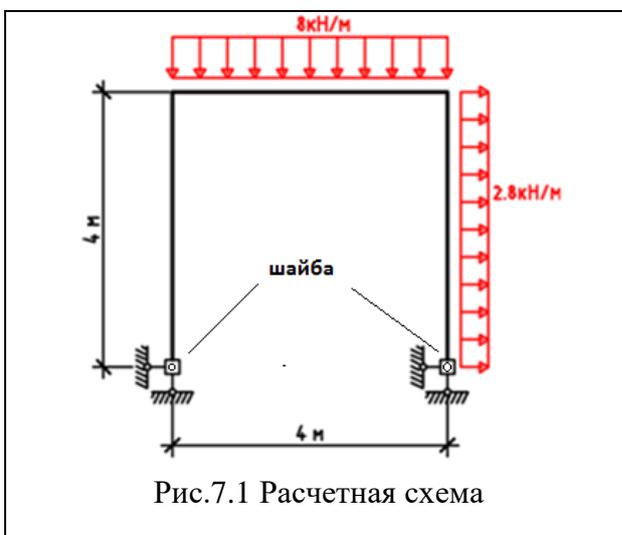


Рис.7.1 Расчетная схема

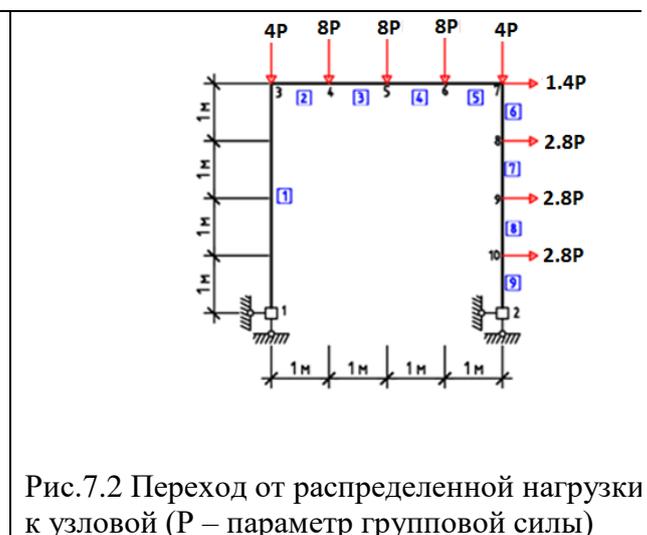
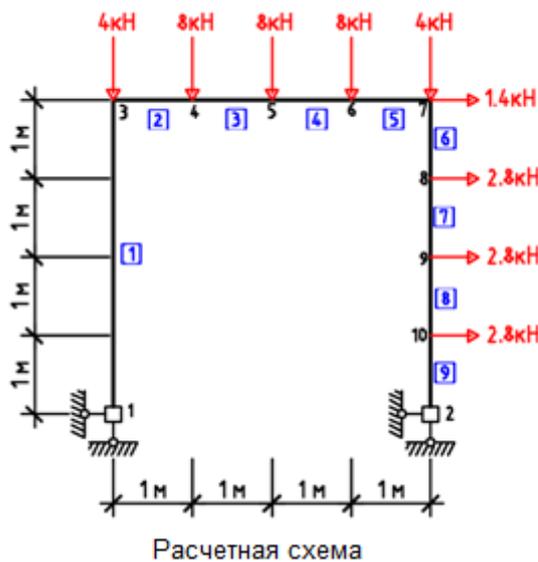


Рис.7.2 Переход от распределенной нагрузки к узловой (P – параметр групповой силы)



**Исходные данные**

Двутар №10  
 Площадь [м<sup>2</sup>];  
 Моменты инерции [м<sup>4</sup>];  
 Пластический момент сопротивления [м<sup>3</sup>]  
 $I_0 := 1.2 \cdot 10^{-3}$      $J_z := 1.98 \cdot 10^{-6}$      $J_y := 1.79 \cdot 10^{-7}$   
 $W_z := 4.6 \cdot 10^{-5}$   
 Предел текучести [кН/м<sup>2</sup>]     $\sigma_T := 240 \cdot 10^3$   
 Модуль упругости [кН/м<sup>2</sup>]     $E := 2 \cdot 10^8$   
 Предельный изгибающий момент [кНм]  
 $M_{T0} := \sigma_T \cdot W_z = 11.04$

Рис.7.3

8. 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

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

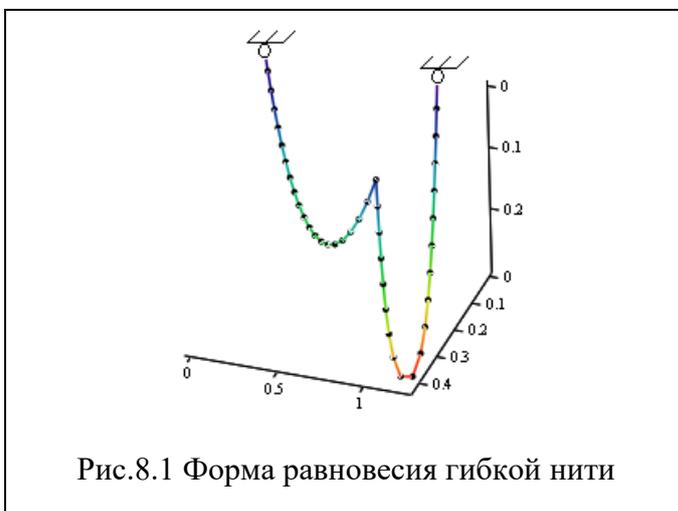


Рис.8.1 Форма равновесия гибкой нити

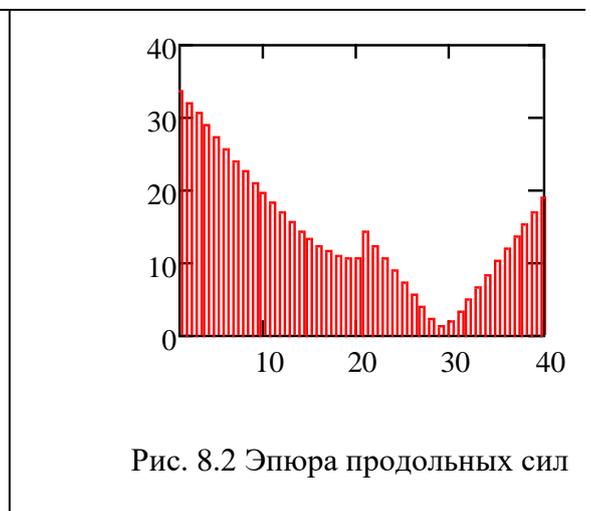


Рис. 8.2 Эпюра продольных сил

## 9. Расчет вантовой фермы.

На рис.9.1 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  $P=10;20;30;40;50$  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  $EF_p=12\cdot 10^3\text{кН}$ .

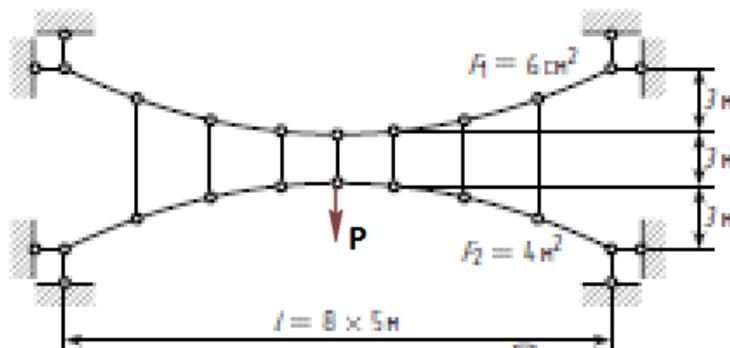


Рис.9.1

### 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).
38. Расчет мачты (МКЭ-Лира).

### 7.2.5. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

*(Например: Экзамен проводится по 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.)*

### 7.2.6 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение. Виды нелинейности в теории расчета конструкций.	УК-6	Ответы на вопросы к зачету 1,2,3.
2	Основные положения нелинейной строительной механики.	УК-6	Ответы на вопросы к зачету 4,5.6.
3	Расчёт физически нелинейных стержневых систем. Расчет конструкций по несущей способности. Метод предельного равновесия.	УК-6	Защита РГР №1, РГР №2. Ответы на вопросы к зачету 4,5.6.
4	Конструктивно нелинейные задачи. Системы с точечными односторонними опорами и шарнирами. Системы с непрерывно распределенными по линии или	УК-6	Защита РГР №3. Ответы на вопросы к зачету 7-17; 29-32.

	поверхности односторонними связями. Методы определения рабочей системы.		
5	Геометрически нелинейные задачи. Большие перемещения и устойчивость конструкций.	УК-6	Сильный изгиб консоли под действием сосредоточенной силы и момента (силовые факторы прикладываются в различной последовательности). Ответы на вопросы к зачету 34-36.
6	Основы метода конечных элементов (МКЭ) для решения нелинейных задач.	УК-6	Защита РГР №4. Ответы на вопросы к зачету 37-38.

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

Решение стандартных задач осуществляется в среде компьютерной математики Mathcad. При решении стандартных задач необходимо уметь пояснить фрагмент программного кода и алгоритм формирования общих уравнений строительной механики применительно к решению расчетно-графических работ РГР №1-№4. Фрагмент программы может включать: формирование уравнений равновесия, уравнений совместности деформаций, уравнений закона Гука, уравнений смешанного метода, уравнений метода сил, уравнений метода перемещений, уравнений предельного равновесия. 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 в системе Mathcad. Студент редактирует код программы "Образец" и выполняет решение поставленной задачи (принципы и алгоритм работы программы "Образец" обсуждаются ранее на практических занятиях при решении аналогичной задачи). 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. Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Строительная механика. Учебник. 12-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 656 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). ISBN 978\_5\_8114\_0576\_3

2. В.В. Петров Нелинейная строительная механика. Учебник. М.: Издательство АСВ, 2019. - 432 с. ISBN 978-5-4323-0305-9
3. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В Основы работы в математической системе MathCAD. Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины ГВУЗ "Донецкий национальный технический университет" Учебное пособие для студентов всех специальностей технического университета, 2014. 187 с.
4. Очков В.Ф. Mathcad 14 для студентов и инженеров: русская версия. СПб:БХВ-Петербург, 2009.-512 с.: ил. ISBN 978-5-9775-0403-4
5. Лукаш П.А. Основы нелинейной строительной механики. М.: Строиздат, 1978. -208 с.
6. Рудых О.Л., Соколов Г.П., Пахомов В.Л. Введение в нелинейную строительную механику. М.: Строиздат, 1999. -208 с.
7. Сопротивление материалов : учебное пособие / составители: Н. И. Смолин, С. Н. Кокошин, А. Ю. Чуба. - Сопротивление материалов ; 2026-05-06. - Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2018. - 147 с. - Текст. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 06.05.2026 (автопродлонгация). - ISBN 2227-8397.  
URL: <http://www.iprbookshop.ru/107607.html>
8. Сопротивление материалов : учебное пособие / Н. И. Дедов, Н. А. Глазунова, И. Е. Адеянов, В. Н. Исуткина. - Сопротивление материалов ; 2026-09-20. - Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. - 219 с. - Текст. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 20.09.2026 (автопродлонгация). - ISBN 2227-8397.
9. Сопротивление материалов. Строительная механика. Олимпиадные задачи [Электронный ресурс] / Агуленко В. Н., Герасимов С. И., Карманова Т. Ф., Маслов Е. Б., Суворин П. Г., Тихомиров В. М., Шабанов А. П., Шушунов В. В. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 44 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-7660-2.  
URL: <https://e.lanbook.com/book/176842>
10. Строительная механика и конструкции [Текст] : научный журнал. Вып. № 1-4, 2021 / [ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", Строит. фак. ; редкол.: В. С. Сафронов (гл. ред.) и др.]. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2021. - 104 с. : ил. - Библиогр. в конце ст. - ISSN 2219-1038 : 500 экз.

### **8.1.2 Дополнительная литература:**

1. Кондратенко, В. Е. Строительная механика: расчет статически определимых и неопределимых рам при кинематическом воздействии : учебное пособие / В. Е. Кондратенко, В. В. Девятьярова, А. А. Герасимова. - Строительная механика: расчет статически определимых и неопределимых рам при кинематическом воздействии ; Весь срок охраны авторского права. - Москва : Издательский Дом МИСиС, 2018. - 27 с. - Текст. - Весь срок охраны авторского права. - ISBN 978-5-907061-29-3.  
URL: <http://www.iprbookshop.ru/106979.html>

2. Шапиро, Д. М. Нелинейная механика грунтов [Текст] : учебное пособие / Воронеж. гос. архит.-строит. ун-т. - Воронеж : [б. и.], 2016 (Воронеж : Отдел оперативной полиграфии изд-ва учеб. лит. и учеб.-метод. пособий ВГАСУ, 2016). - 120 с. : ил. - Библиогр.: с. 116-117 (30 назв.). - ISBN 978-5-89040-580-7
3. Нелинейная механика / Под ред. В. М. Матросова, В. В. Румянцева, А. В. Карапетяна. - М. : Физматлит, 2001. - 432 с. - ISBN 5-9221-0091-2
4. 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>

### **8.1.3 Периодические издания:**

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

**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. Программный конечно-элементный комплекс ЛИРА-САПР.
2. Вычислительная статистическая программа STADIA разработки Московского государственного университета (НПО «Информатика и компьютеры»).
3. Консультирование посредством электронной почты.
4. <http://www.cchgeu.ru>. Образовательный портал ВГТУ.
5. <http://cchgeu.ru/university/library/elektronnyy-katalog/> Электронный каталог Научной Библиотеки ВГТУ.
6. [elibrary.ru](http://elibrary.ru);
7. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.
8. <https://картанауки.рф/>.
9. [dwg.ru](http://dwg.ru).

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

В наличии имеется специализированная учебная аудитория (компьютерный класс, ауд. № 2121).

Она оснащена специализированной учебной мебелью и техническими средствами обучения: ПК с возможностью подключения к локальным сетям и Интернету. Наличие вычислительной техники из расчёта один ПК на одного студента.

Также, аудитория оборудована, как обычной доской, так и техническими средствами для реализации мультимедийной технологии проведения лекционных и практических занятий, а также проведения конференций (проектор, интерактивная доска, персональный компьютер или ноутбук).

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

По дисциплине «Нелинейные задачи строительной механики» 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; 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.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:

	<ul style="list-style-type: none"><li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li><li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul>
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.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1.	Актуализирован раздел 8.1 в части состава используемого перечня учебной литературы (основной и дополнительной), необходимой для усвоения дисциплины	31.08.2018	
2.	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2018	
3.	Актуализирован раздел 8.1 в части состава используемого перечня учебной литературы (основной и дополнительной), необходимой для усвоения дисциплины	31.08.2019	
4.	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2019	
5.	Актуализирован раздел 8.1 в части состава используемого перечня учебной литературы (основной и дополнительной), необходимой для усвоения дисциплины	31.08.2020	
6.	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2020	