

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Утверждаю:

Зав. кафедрой строительной механики

 Козлов В.А.

«31» августа 2021 г.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«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

Разработчик



А.Н. Аверин

Процесс изучения дисциплины «Нелинейная механика» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 – Владение 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

Перечень планируемых результатов обучения и показателей оценивания сформированности компетенций на этапе промежуточной аттестации

№ п/п	Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенций	Тип ОМ	Показатели оценивания
1	ПК-1	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.	Вопросы к зачету	Полнота знаний
		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).	Стандартные задания	Наличие умений
		Владеть: общими фундаментальными понятиями о различных видах нелинейностей конструкций и сооружений, способами и приемами решения подобных задач, навыками расчёта конструкций с учётом нелинейностей; определе-	Прикладные задания	Наличие навыков

		<p>ния внутренних усилий, напряжений и перемещений в элементах статически определимых и неопределимых систем современными методами при различных воздействиях, применять, анализировать и проверять результаты расчетов.</p>		
2	ПК-2	<p>знать основные принципы проектирования конструкций зданий и сооружений, подвергаемых динамическим воздействиям</p>	Вопросы к зачету	Полнота знаний
		<p>уметь вести разработку эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов</p>	Стандартные задания	Наличие умений
		<p>владеть навыками работы с системами автоматизированного проектирования</p>	Прикладные задания	Наличие навыков
3	ПК-3	<p>знать методики, планы и программы проведения научных исследований и разработок</p>	Вопросы к зачету	Полнота знаний
		<p>уметь готовить задания для исполнителей, организовывать проведение экспериментов и испытаний</p>	Стандартные задания	Наличие умений
		<p>владеть практическими навыками по разработке программ проведения научных исследований, анализировать и обобщать результаты экспериментов и испытаний</p>	Прикладные задания	Наличие навыков

**ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, КРИТЕРИЕВ И ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ
НА ЭТАПЕ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Показатели оценивания компетенций	Шкала и критерии оценки уровня сформированности компетенции			
	Неудовлетворительный	Минимально допустимый (пороговый)	Средний	Высокий
Полнота знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки ¹	Минимально допустимый уровень знаний. Допущены не грубые ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущены некоторые погрешности.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки
Наличие умений	При выполнении стандартных заданий не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Выполнены типовые задания с не грубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме (отсутствуют пояснения, неполные выводы)	Продемонстрированы все основные умения. Выполнены все основные задания с некоторыми погрешностями. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Выполнены все основные и дополнительные задания без ошибок и погрешностей. Задания выполнены в полном объеме без недочетов.
Наличие навыков (владение опытом)	При выполнении стандартных заданий не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для выполнения стандартных заданий с некоторыми недочетами.	Продемонстрированы базовые навыки при выполнении стандартных заданий с некоторыми недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Выполнены все основные и дополнительные задания без ошибок и погрешностей. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
Характеристика сформированности компетенции	Компетенция в полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение.	Сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству профессиональных задач.	Сформированность компетенций в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения стандартных профессиональных задач.	Сформированность компетенции полностью соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в полной мере достаточно для решения сложных профессиональных задач.

ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Вопросы (тестовые задания) для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций

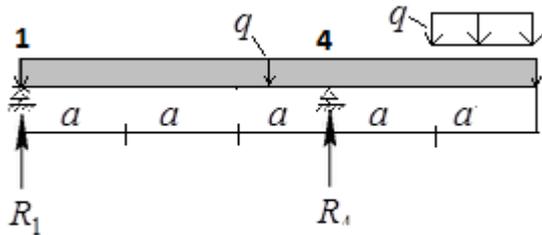
	<p>ПК-1 - Способен использовать методы проектирования и мониторинга зданий и сооружений, их конструктивных элементов, включая методы расчётного обоснования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования</p> <p>ПК-2 - Способностью вести разработку эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования</p> <p>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</p>
1	<p>Что называется пределом пропорциональности материала? - <i>Максимальное напряжение, до которого материал подчиняется закону Гука.</i></p>
2	<p>Что называется пределом текучести материала? - <i>Напряжение, при котором материал деформируется без увеличения нагрузки.</i></p>
3	<p>Какие системы называются геометрически неизменяемыми? - <i>Системы, перемещения отдельных точек которых возможны только в результате деформации систем.</i></p>
4	<p>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></p>
5	<p>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></p>
6	<p>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></p>
7	<p>Как определяется предельный изгибающий момент в сечении балки из упругопластического материала? $M_{пред} = \sigma_T \cdot W_{пл}, \quad W_{пл} = S_{сж} + S_p,$ где σ_T - предел текучести; $S_{сж}$, S_p - статические моменты растянутой и сжатой частей сечения относительно нулевой линии.</p>
8	<p>Что такое линия влияния усилия? Что показывает ордината линии влияния? - <i>График изменения усилия в зависимости от положения единичного безразмерного груза ($P=1$). - Величину усилия при расположении единичного груза над данной ординатой.</i></p>
9	<p>Что такое смешанная линия влияния усилия? Что показывает ордината смешанной линии влияния? - <i>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.</i></p>
10	<p>Запишите точное и приближенное дифференциальное уравнение оси изогнутой балки.</p>

	$-\text{Точное} \frac{\frac{d^2}{dx^2} V(x)}{\left[1 + \left(\frac{d}{dx} V(x)\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}} = -M(x)$ <p>-Приближенное</p> $\frac{d^2}{dx^2} V(x) = -M(x)$
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Практические задания для оценки результатов обучения,
характеризующих сформированность компетенций**

<p>ПК-1 - Способен использовать 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</p> <p>ПК-2 - Способностью вести разработку эскизных, технических и рабочих проектов сложных объектов, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования</p> <p>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</p>	
1	<p>Выполнить задания с использованием ручного счета и в системе инженерных расчетов Mathcad.</p> <p>Записать систему уравнений в матричной форме</p> $\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 = 2 \\ 2x_1 - x_2 - 6x_3 = -1 \\ 3x_1 - 2x_2 = 8 \end{cases}$ <p>Ответ : $Ax = b$ $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -6 \\ 3 & -2 & 0 \end{pmatrix}$ $b = \begin{pmatrix} 2 \\ -1 \\ 8 \end{pmatrix}$</p>
2	<p>Вычислить ранг и определитель матрицы A</p> <p>Ответ : $\text{rank}(A) = 3$ $A = -29$</p>
3	<p>Вычислить матрицу обратную к матрице A методом Гаусса-Жордана</p> <p>Ответ : $A^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{12}{29} & \frac{2}{29} & \frac{5}{29} \\ \frac{18}{29} & \frac{3}{29} & -\frac{7}{29} \\ -\frac{1}{29} & -\frac{5}{29} & \frac{2}{29} \end{pmatrix}$</p>
4	<p>Решить систему уравнений $Ax=b$ методом обратной матрицы и методом Гаусса, сделать проверку</p> <p>Ответ : $X := A^{-1} \cdot b = \begin{pmatrix} 2.138 \\ -0.793 \\ 0.655 \end{pmatrix}$ $X := \text{Isolve}(A, b) = \begin{pmatrix} 2.138 \\ -0.793 \\ 0.655 \end{pmatrix}$ $A \cdot X = \begin{pmatrix} 2 \\ -1 \\ 8 \end{pmatrix}$</p>

5 Для балки, представленной на рис.5.1, построить эпюру изгибающих моментов на основе программы Mathcad.

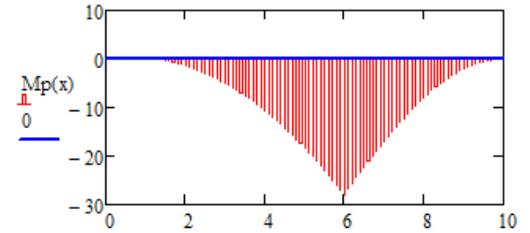


$a=2\text{м}; q=2\text{кН/м.}$ $R_1 = \frac{4}{3}$ $R_4 = \frac{68}{3}$

Рис.5.1

Ответ $M_p(x) :=$

$$\begin{cases} R_1 \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2} & \text{if } 0 \leq x \leq 3 \cdot a \\ R_1 \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2} + R_4 \cdot (x - a \cdot 3) & \text{if } a \cdot 3 \leq x \leq 4a \\ R_1 \cdot x - q \cdot \frac{x^2}{2} + R_4 \cdot (x - a \cdot 3) - q \cdot (x - 4 \cdot a) \cdot \frac{(x - 4 \cdot a)}{2} & \text{if } a \cdot 4 \leq x \leq 5a \end{cases}$$



6 Выполнить расчет неразрезной балки (рис.6. 1)

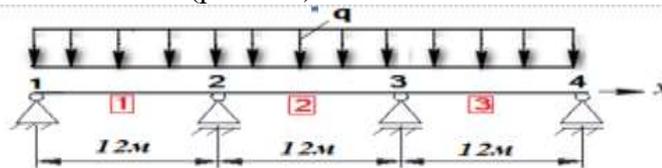
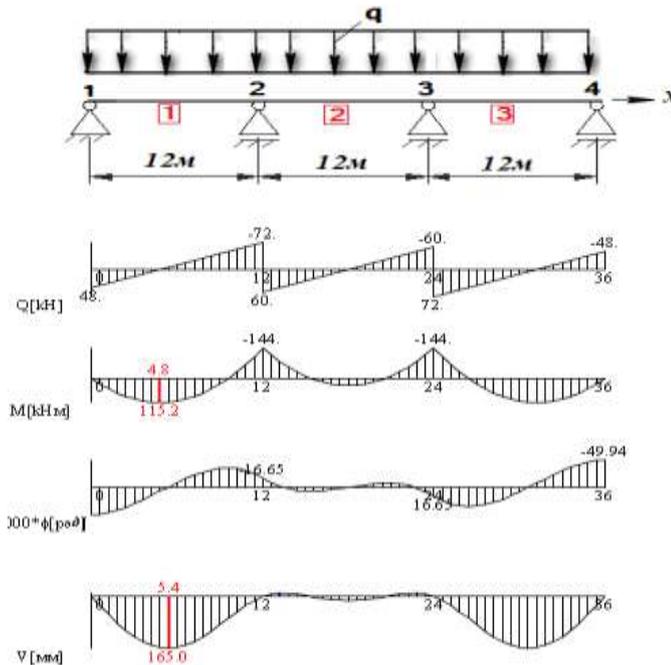


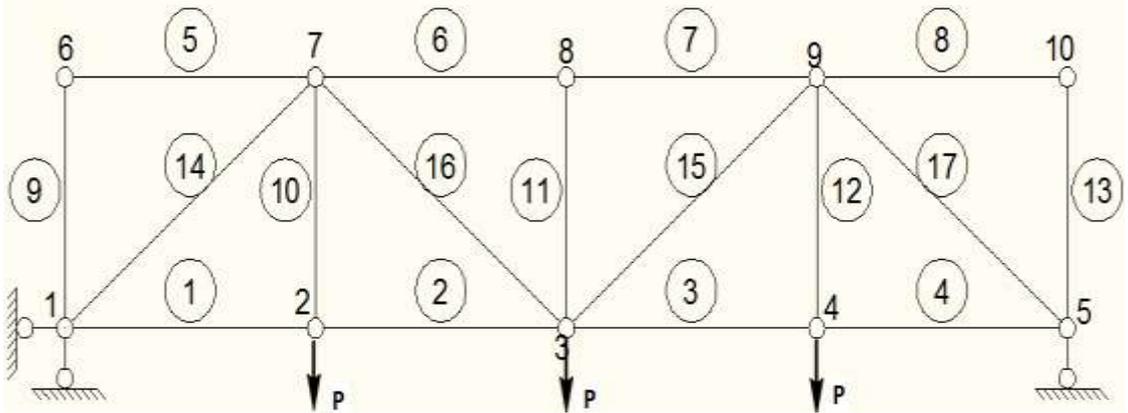
Рис.6.1

с помощью уравнений 3-х моментов и проверить результаты расчетов в ПК Лири (q=10кН/м; EJ=6920кНм²)

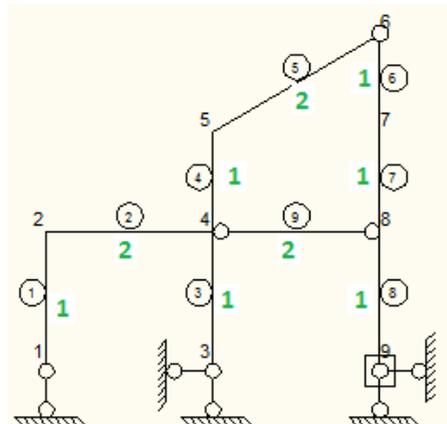
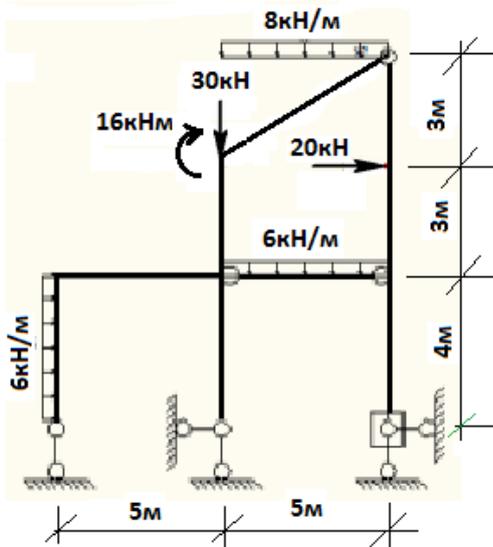
Ответ:



7 Определить усилия в стержнях фермы и проверить результаты расчетов в ПК Лири

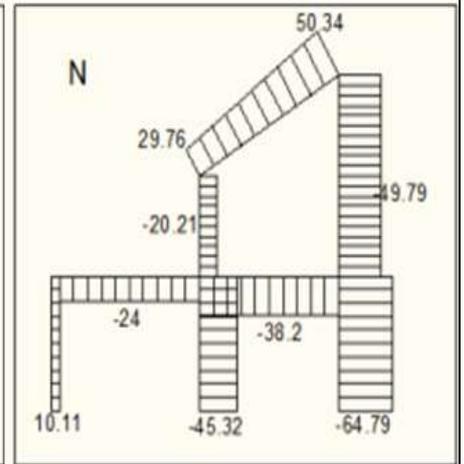
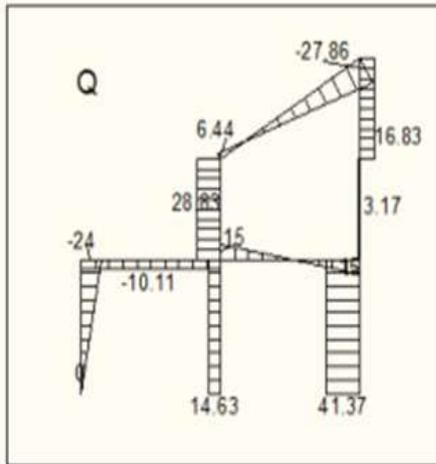
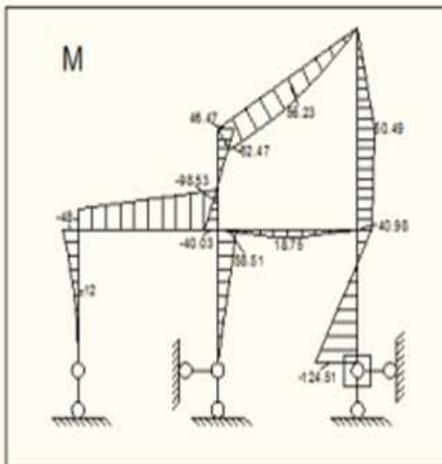


8 Построить эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил в ПКВ Лира



Модуль упругости $E=3,0E7$ кН/м²
 Тип 1 $J=1.6E(-03)$ м⁴; $A=1.2E(-01)$ м²
 Тип 2 $J=5.4E(-03)$ м⁴; $A=1.8E(-01)$ м²

Ответ:



9. Расчет балочных систем с односторонними связями.

На рис.9.1а представлена неразрезная балка с пятью двухсторонними опорами, а на рис.9.1 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.

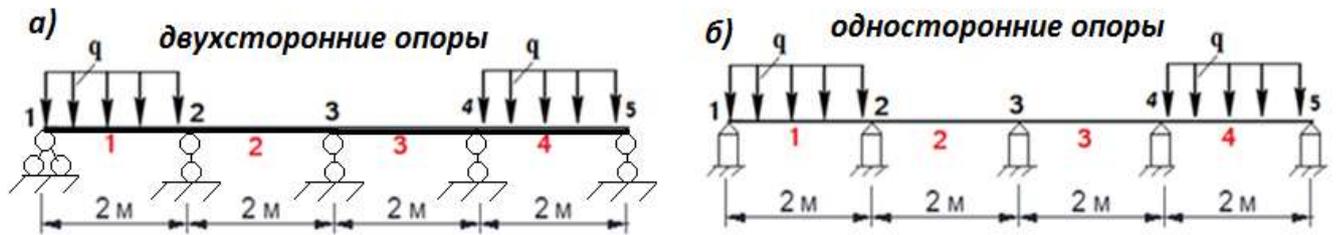
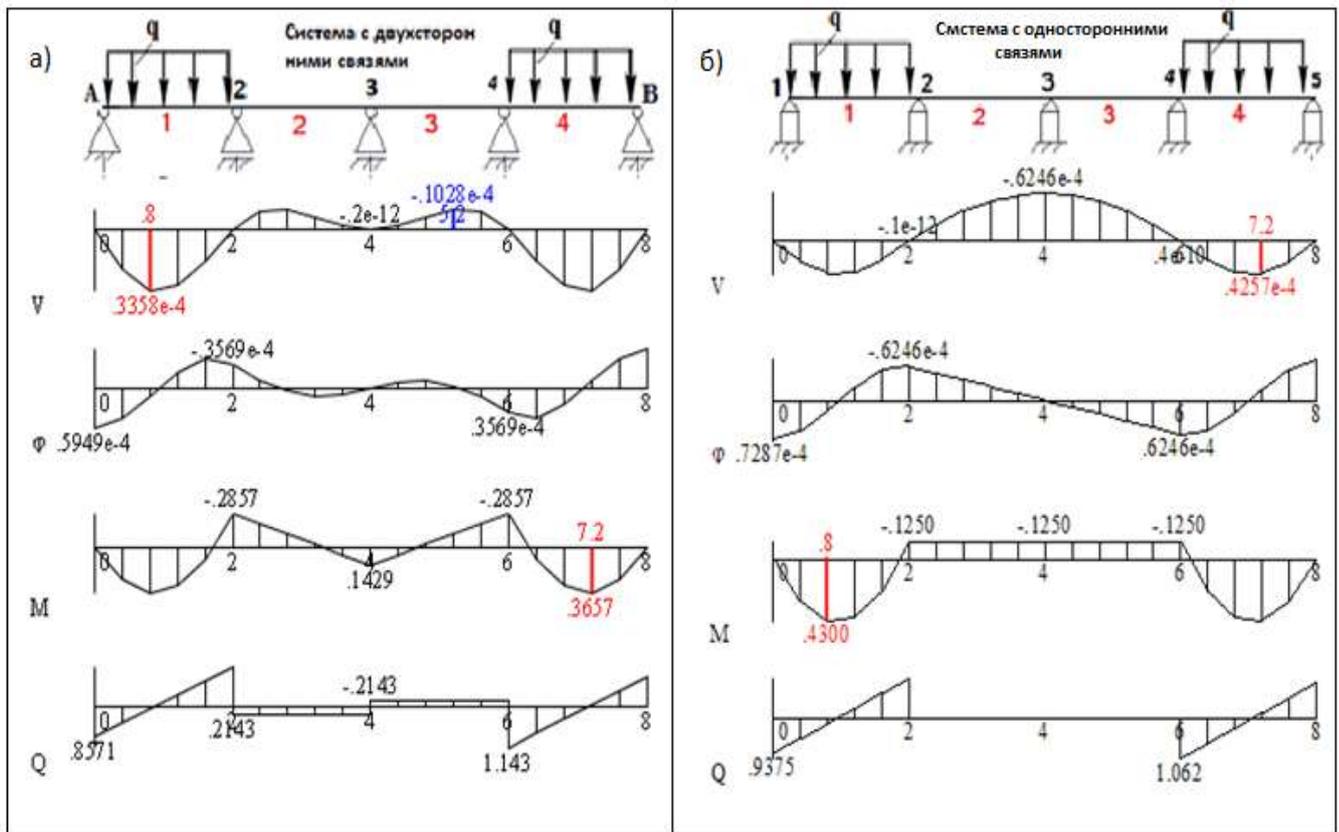


Рис.9.1

Ответ:



- 10 На рис. 10 представлена балка с односторонними шарнирами (угловые упоры). В зависимости от схемы нагрузки на балку, угловые упоры могут сближаться (взаимный угол поворота торцов сечений равен нулю), и между торцами смежных опорных сечений возникает монолитное соединение. При взаимном удалении жестких консолей (угловых упоров) в опорном сечении образуется шарнир.

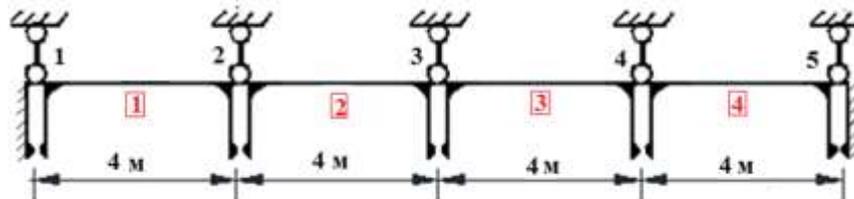
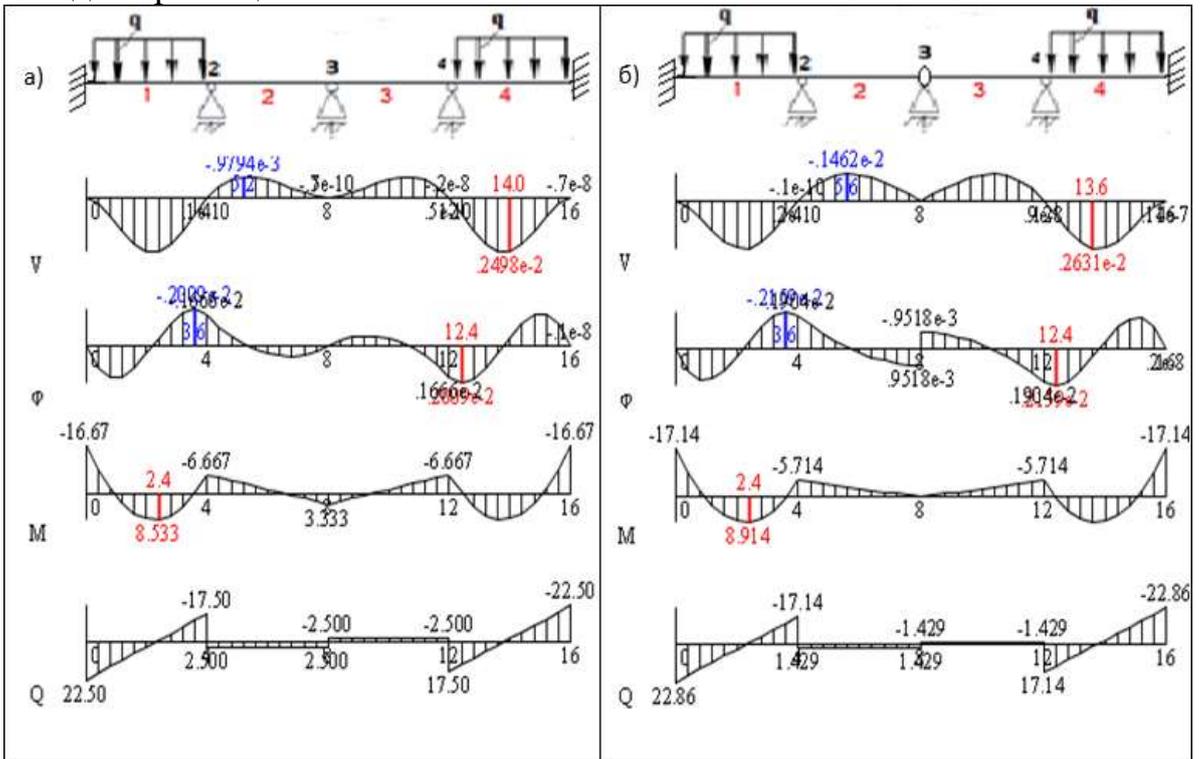


Рис.10 Балка с односторонними шарнирами

В системе Mathcad необходимо выполнить сравнительный расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) двух балочных систем (рис.4): неразрезной балки с двухсторонними связями и неразрезной балки с односторонними шарнирами. Расчет системы с односторонними связями выполнить методом итераций на

основе метода перемещений.



Ответ:

11. Расчет статически неопределимых стержневых систем с учетом физической нелинейности.

Определить предельные нагрузки для стержневой системы (рис.11.1), работающей в упругопластической стадии. Материал системы подчиняется диаграмме Прандтля (рис.11.2).

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

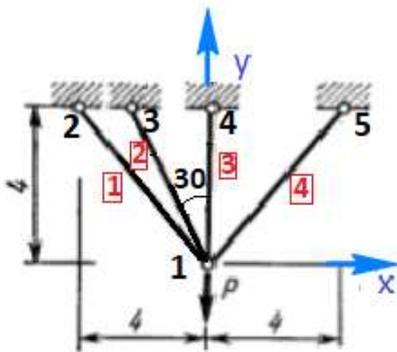


Рис. 11.1 Стержневая система

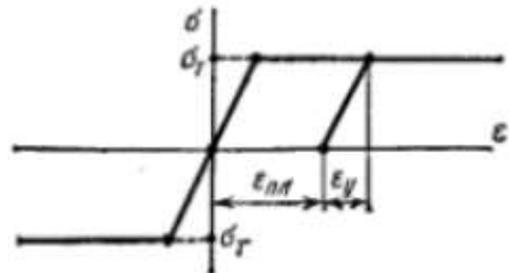


Рис. 11.2 Диаграмма Прандтля. Разгрузка по прямой параллельной начальному участку соответствующему закону Гука

Ответ: Стадии упругопластического деформирования

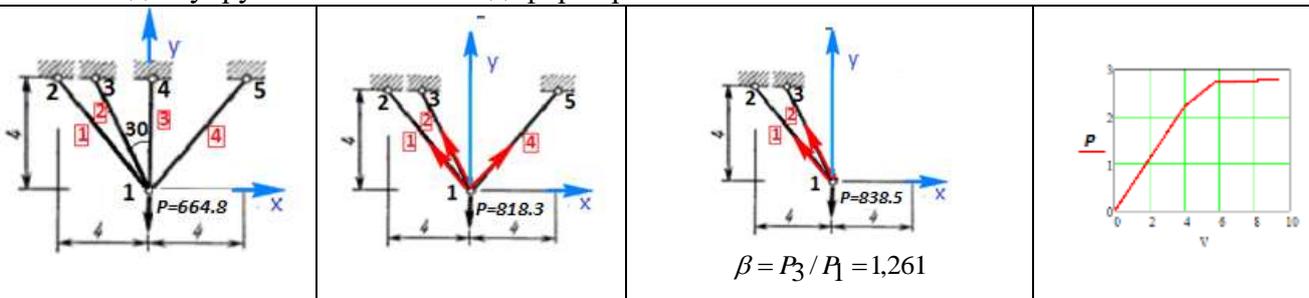


Рис. 11.3 Стадии упругопластического деформирования

12. Определить предельные нагрузки для стержневой системы, работающей в упругопластической стадии (рис.12.1,рис.12.2). Материал системы подчиняется диаграмме

жесткопластического тела, исходные данные рис.12.3

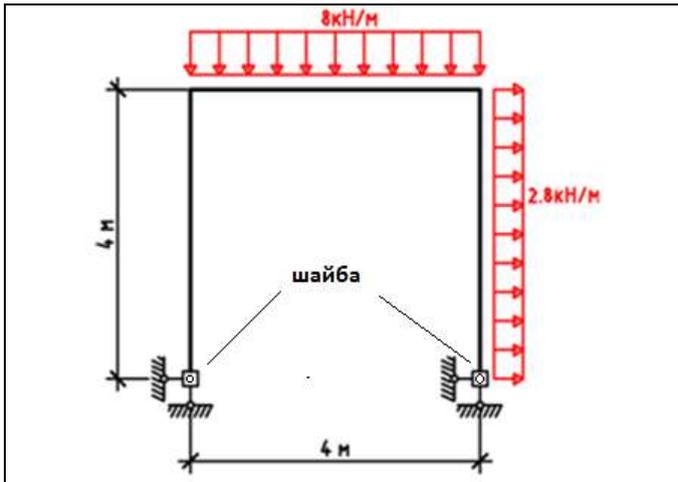


Рис.12.1 Расчетная схема

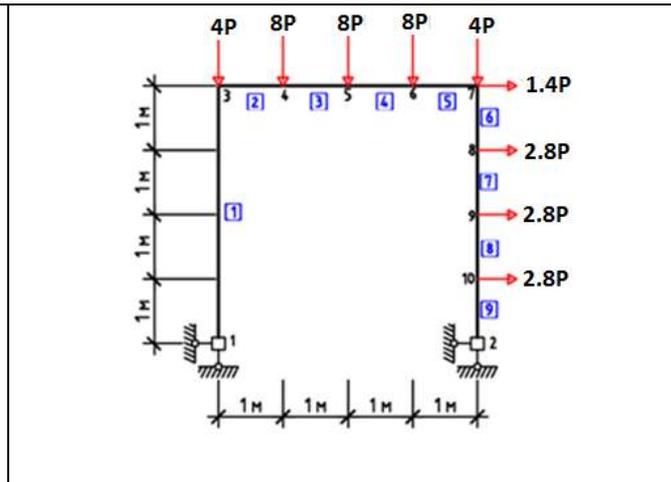
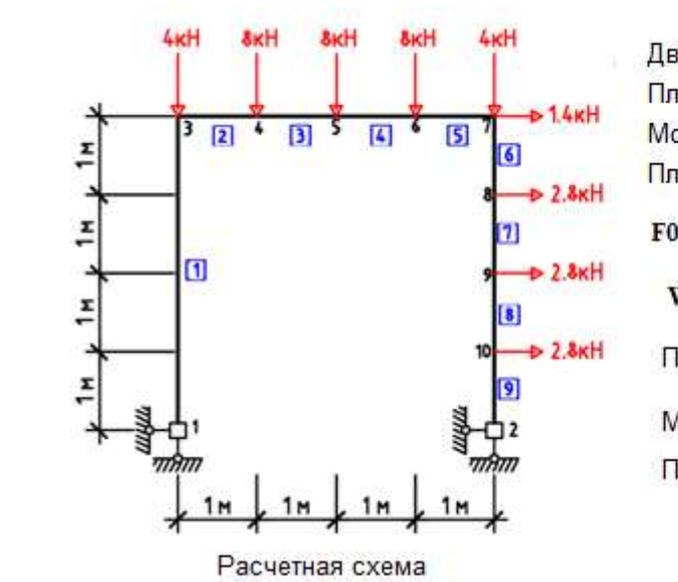


Рис.12.2 Переход от распределенной нагрузки к узловой (P – параметр групповой силы)



Расчетная схема

Исходные данные

- Двутар №10
- Площадь [м²];
- Моменты инерции [м⁴];
- Пластический момент сопротивления [м³]
- $F_0 := 1.2 \cdot 10^{-3}$ $J_z := 1.98 \cdot 10^{-6}$ $J_y := 1.79 \cdot 10^{-7}$
- $W_z := 4.6 \cdot 10^{-5}$
- Предел текучести [кН/м²] $\sigma_T := 240 \cdot 10^3$
- Модуль упругости [кН/м²] $E := 2 \cdot 10^8$
- Предельный изгибающий момент [кНм]
- $M_{T0} := \sigma_T \cdot W_z = 11.04$

Рис.12.3

Ответ: стадии упругопластического деформирования

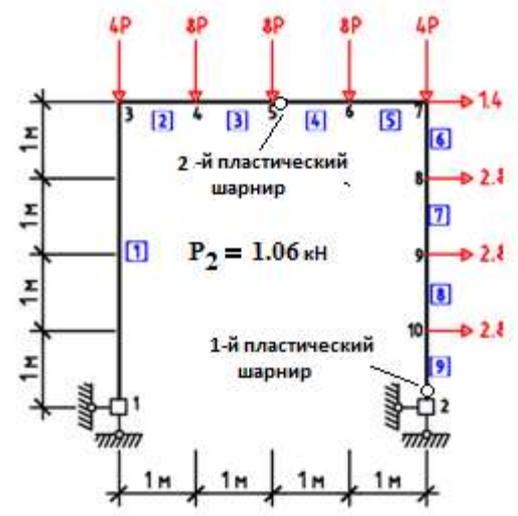
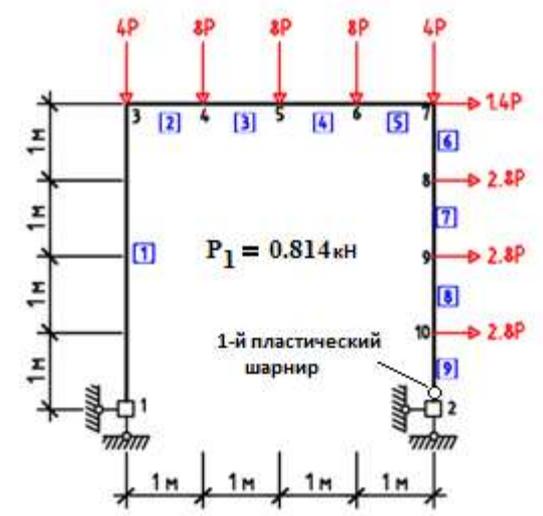


Рис.12.4

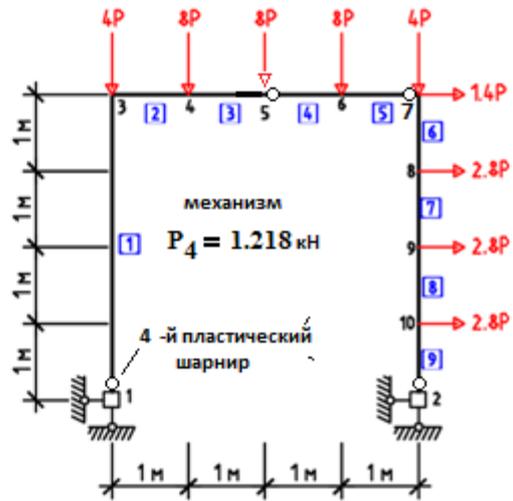
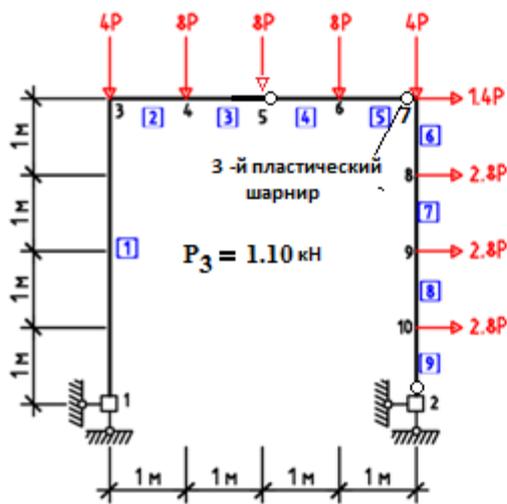


Рис.12.5

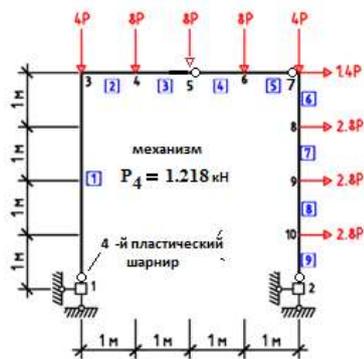


Рис.12.6

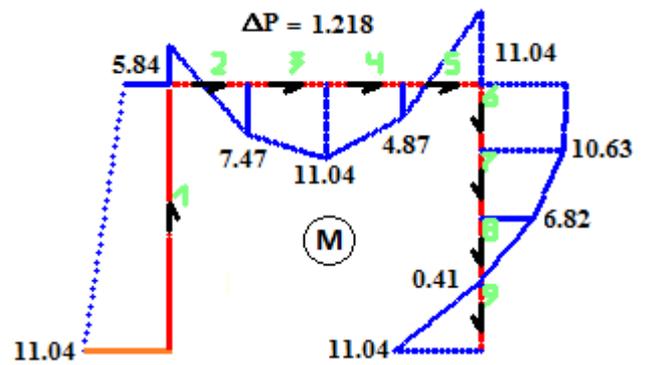


Рис.12.7 Эпюра изгибающих моментов
 $\beta = P_4 / P_1 = 1.496$

Расчет геометрически нелинейных стержневых систем

13 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

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

Ответ:

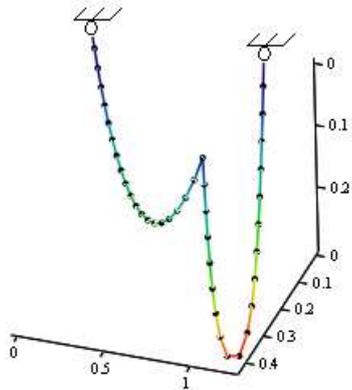


Рис.13.1 Форма равновесия гибкой нити

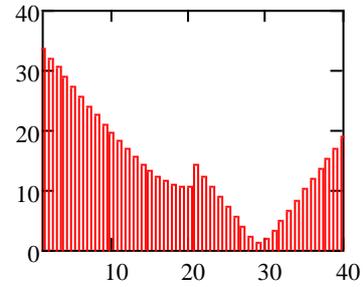


Рис. 13.2 Эпюра продольных сил

14

Расчет вантовой фермы.

На рис.14.1 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

$$EF_p = 12 \cdot 10^3 \text{ кН} .$$

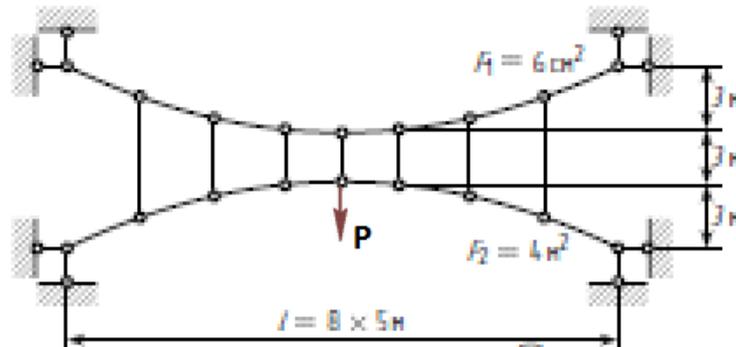


Рис.14.1

Ответ:

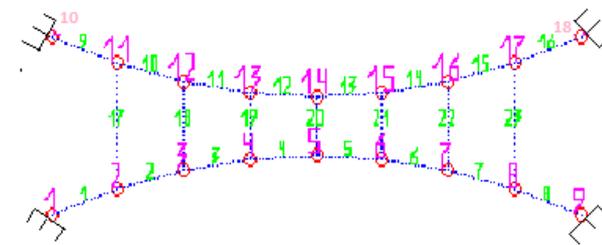


Рис.14.2

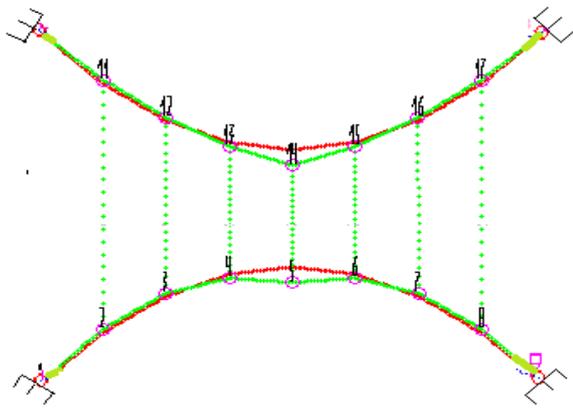


Рис. 14.3 Форма равновесия фермы (зеленый)

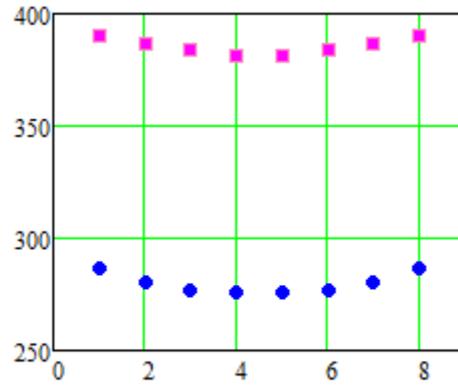


Рис.14.4 Напряжения в нитях нижнего (синий цвет) и верхнего (розовый цвет) поясов.

Зависимости перемещений и напряжений (максимальных) от величины нагрузки

PC :=	10	V :=	0.1205	U :=	0.0098	PS :=	249.3
	20		0.2146		0.017		256.3
	30		0.2873		0.023		266.9
	40		0.347		0.027		277.5
	50		0.3982		0.031		286.9

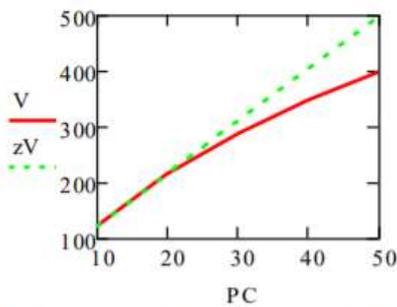


Рис. 5 Вертикальные перемещения узла 5 (мм)

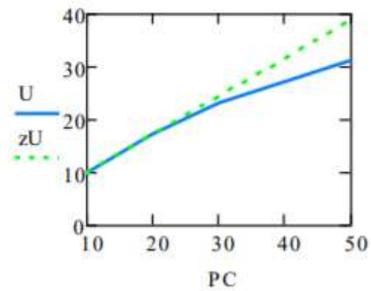


Рис. 6 Горизонтальные перемещения узла 11 (мм)

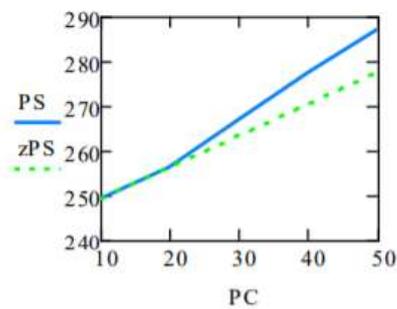


Рис.7 Максимальные напряжения в нитях нижнего пояса

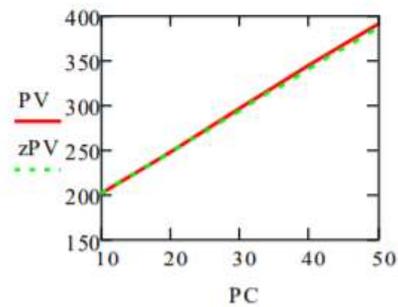


Рис.8 Максимальные напряжения в нитях верхнего пояса

Вопросы к зачету

1. Основные принципы линейной строительной механики.
2. Виды нелинейности в задачах расчёта конструкций.
3. Примеры физически, геометрически и конструктивно нелинейных задач.
4. Генетическая (инженерная) нелинейность.
5. Физически нелинейные задачи. Основные расчётные модели материалов.
6. Диаграммы деформирования материала: линейно-упругого тела (закон Гука); нелинейно-упругого тела; идеального упругопластического тела (Прандтля); упругопластического тела с линейным упрочнением; трёхлинейная модель материала (сжатый бетон); жесткопластического тела.
1. Понятия: секущего модуля упругости, секториального модуля упругости и касательного модуля упругости.
2. Напряжённое состояние в точке деформированного тела. Разложение тензора напряжений на шаровой тензор напряжений и тензор девиатор.
3. Инварианты напряженно-деформированного состояния. Главные напряжения и главные деформации.
4. Интенсивности нормальных и касательных напряжений. Интенсивности линейных деформаций и деформаций сдвига.
11. Какие связи называются двухсторонними.
12. Какие связи называются односторонними.
13. Запишите условия работающей и выключающейся из работы односторонней связи.
14. Приведите примеры систем с абсолютно жесткими односторонними связями – упорами. Покажите все возможные рабочие системы.
15. Приведите примеры систем с абсолютно жесткими односторонними связями – односторонними шарнирами. Покажите все возможные рабочие системы.
16. Как определить суммарное число всевозможных рабочих систем в системе с m односторонними связями.
17. Приведите пример систем с односторонними связями, установленными с зазорами. Покажите все возможные рабочие системы.
18. Приведите пример системы с зазорами с односторонними связями в виде гибких нитей. Покажите все возможные рабочие системы.
19. Приведите примеры систем с упругими односторонними связями. Запишите условия работающей и выключающейся из работы упругой односторонней связи.
20. Привести пример системы с непрерывно распределенными по линии односторонними связями, которые могут выключаться на любой части линии.
21. Привести пример системы с непрерывно распределенными по поверхности односторонними связями, которые могут выключаться на любой части поверхности.
22. Запишите выражение для потенциальной энергии упругой деформации при плоском изгибе через коэффициенты канонических уравнений метода сил (функция Кастильяно).

$$U(X_1, X_2) := \frac{1}{2} \delta_{1,1} X_1^2 + \delta_{1,2} X_1 X_2 + \frac{1}{2} \delta_{2,2} X_2^2 + \Delta_1 X_1 + \Delta_2 X_2 + c$$

$$C = \frac{1}{2} \int_0^L \frac{[M_p(x)]^2}{EJ_z} = U(0,0)$$

23. Скалярная форма записи квадратичной формы (функции Кастильяно).
24. Матричная форма записи квадратичной формы (функции Кастильяно).
25. Запишите условие стационарности функции потенциальной энергии $U(X_1, X_2)$ (функции Кастильяно).
26. Теорема Кастильяно.
27. Запишите условия минимума функции потенциальной энергии $U(X_1, X_2)$.

28. Сформулируйте задачу квадратичного программирования, эквивалентную задаче расчета систем с односторонними связями (в форме метода сил)
29. Минимум функции двух переменных с ограничениями. Решение задачи квадратичного программирования в системе Mathcad (решающий блок Given-Minimize)
30. Что такое линия влияния усилия? Физический смысл ординаты линии влияния.
31. Как по линии влияния усилия определить наиболее опасное положение подвижной нагрузки?
32. Что такое смешанная линия влияния усилия? Физический смысл ординаты смешанной линии влияния.
33. Можно ли применять принцип суперпозиции к смешанным линиям влияния при действии грузов P и Q ?
34. Какие системы относятся к геометрически нелинейным?
35. В чём состоит различие при обычном линейном расчёте и расчёте по деформируемой схеме?
36. Как осуществляется расчёт по деформированному состоянию способом последовательных приближений?
37. Что называется продольно-поперечным изгибом?
38. Как влияет на величину прогибов и изгибающих моментов при продольно-поперечном изгибе сжимающая или растягивающая продольная сила?
39. Назовите зависимость между напряжениями и поперечной нагрузкой при продольно-поперечном изгибе.
40. Что называют консервативной нагрузкой?
42. Как составляются обычные матрицы жёсткости конечных элементов?
43. Как составляются геометрические матрицы жёсткости конечных элементов?