



Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

**Методические указания к выполнению
расчетно-графических заданий № 1-6**

по дисциплине

“Сопротивление материалов”

для студентов специальности

“Кораблестроение и океанотехника”

дневной формы обучения

Севастополь
2008



Методические указания к выполнению расчетно-графических заданий № 1-6 по дисциплине “Сопротивление материалов” для студентов специальности “Кораблестроение и океанотехника” дневной формы обучения / Сост. А.И. Бохонский, Л.В. Барашова. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. – 36 с.

Целью методических указаний является оказание эффективной помощи студентам при выполнении расчетно-графических заданий № 1-6 в объеме всего курса "Сопротивление материалов".

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры ТМ и М протокол № 1 от 28 августа 2008 г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: канд. техн. наук, доцент кафедры технической механики и машиноведения В.В. Леонтьев

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Расчетно-графическое задание №1. Геометрические характеристики плоских составных сечений	4
2. Расчетно-графическое задание № 2. Построение эпюр внутренних усилий	5
3. Расчетно-графическое задание №3. Определение напряжений, подбор поперечных сечений стержней из условий прочности	9
4. Расчетно-графическое задание № 4. Определение перемещений.....	11
5. Расчетно-графическое задание № 5. Статически неопределимые системы.....	15
6. Расчетно-графическое задание № 6. Проектировочный расчет на устойчивость сжатого стержня	19
Библиографический список.....	21
Приложение А. Примеры решения задач в Mathcad	

ВВЕДЕНИЕ

Расчетно-графические задания соответствуют традиционному курсу "Сопротивление материалов" для специальности "Кораблестроение и океанотехника". Эти задание могут быть получены каждым студентом в электронном варианте на кафедре технической механики и машиноведения СевНТУ.

В Приложении А к расчетно-графическим заданиям приведены простые примеры решения задач, содержащие пояснения, с использованием мощного пакета математического моделирования Mathcad [1,2,3]. Другие интересные и полезные задачи читатель может найти в [3].

Авторы выражают искреннюю благодарность MathSoft за возможность использовать MathCad - самый популярный из компьютерных математических пакетов.

Данные для выполнения заданий берутся в соответствии с шифром (три последние цифры номера зачетной книжки). Например, номер зачетной книжки 637458. Шифр 458, которому в соответствие ставятся буквы х, у, z. Т. е. букве х соответствует цифра 4, букве у - 5, букве z - 8. Далее, по таблице выбираются соответствующие данные следующим образом: из каждого вертикального столбца любой таблицы, обозначенного внизу определенной буквой, надо взять число, стоящее в той горизонтальной строке, номер которой совпадает с номером буквы. Например, в таблице 1 для указанного выше шифра студент должен взять из столбца х строку номер 4 (схема №4), из столбца у строку номер 5 (№ уголка - 180*110*12) и из столбца z строку номер 8 (двутавр, либо швеллер №30).

1. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ №1

Геометрические характеристики плоских составных сечений

Требуется

Для заданного сечения определить, пользуясь таблицами сортамента, положение главных центральных осей и величины главных центральных моментов инерции.

Порядок выполнения задания

1. Выписать необходимые для решения задачи данные из таблиц сортаментов.
2. Вычертить сечение в масштабе.
3. Выбрать рациональное расположение вспомогательных осей координат.
4. Определить координаты центра тяжести сечения.
5. Провести через центр тяжести параллельно вспомогательным осям центральные оси и определить относительно их величины осевых и центробежных моментов инерции.
6. Найти положение главных центральных осей и величины главных центральных моментов инерции.

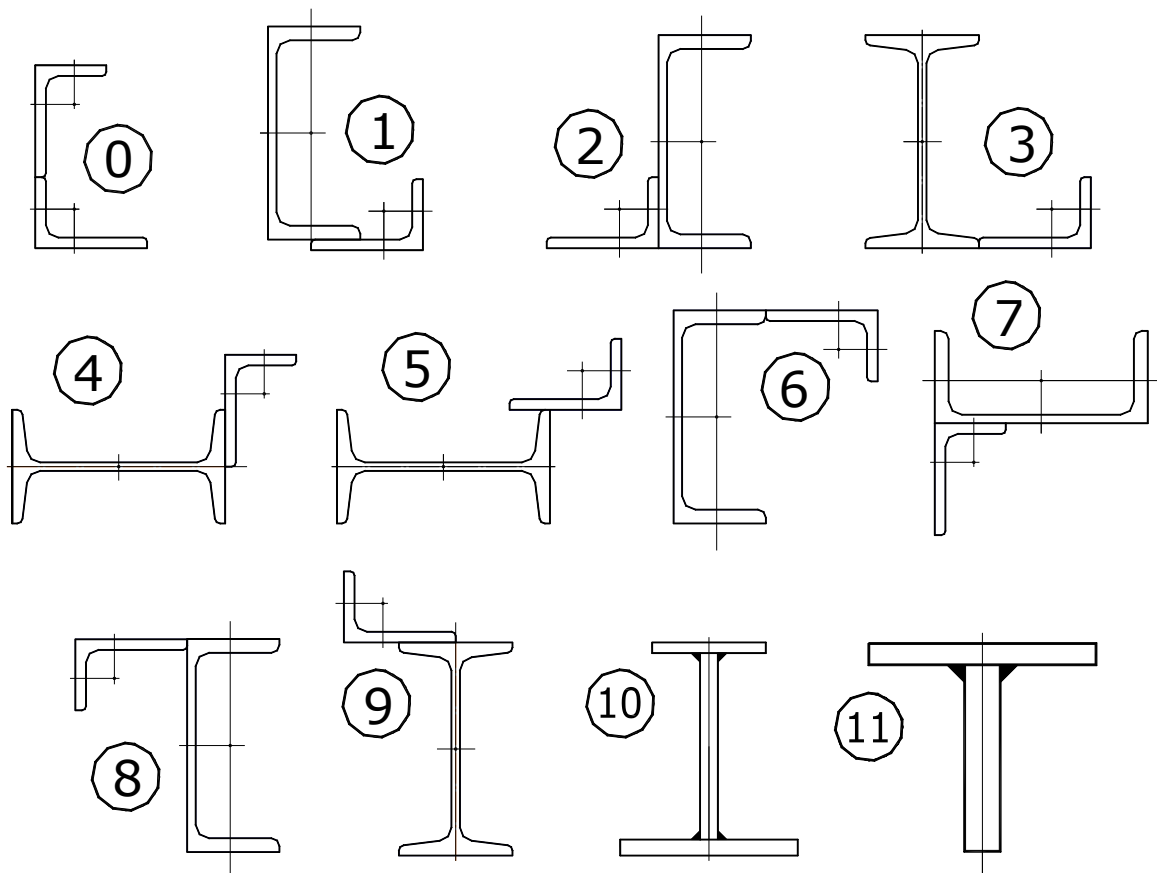


Рисунок 1.1 – Схемы для выполнения задания

Таблица 1.1 – Исходные данные

№ строки	№ схемы	№ уголка	№ двутавра, либо швеллера
0	0	63*40*6	12
1	8	75*50*8	14
2	2	125*80*8	16
3	3	140*90*10	18a
4	7	160*100*10	20a
5	0	180*110*12	22a
6	6	200*125*12	24a
7	7	200*125*16	27
8	8	140*90*8	30
9	3	200*125*14	12
	x	y	z

Примечания:

1. Все размеры, использованные в расчете, должны быть указаны на чертеже.
2. Уголок ГОСТ 8510-72, двутавр ГОСТ 8239-72, швеллер ГОСТ 8240-72.
3. Схемы 1, 4, 5, 9, 10,11 рассматриваются на практических занятиях. **

Контрольные вопросы

1. По каким формулам находят координаты центра тяжести плоской фигуры, состоящей из нескольких элементов?
2. Какая зависимость между полярным и осевыми моментами инерции?
3. Какие оси называют главными центральными?
4. Как вычисляется момент инерции относительно осей, параллельных осям, проходящим через центр тяжести сечения?
5. По какой формуле рассчитывается угол наклона главных центральных осей плоской фигуры?
6. Относительно каких осей осевые моменты инерции принимают экстремальные значения?
7. Что такое радиус инерции поперечного сечения?

2. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ №2**Построение эпюр внутренних усилий****Требуется**

1. Построить эпюру продольной силы для схем I-1 и I-2 (для схемы I-2 с учетом собственного веса).
2. Построить эпюры крутящих моментов для схем II-1 и II-2.

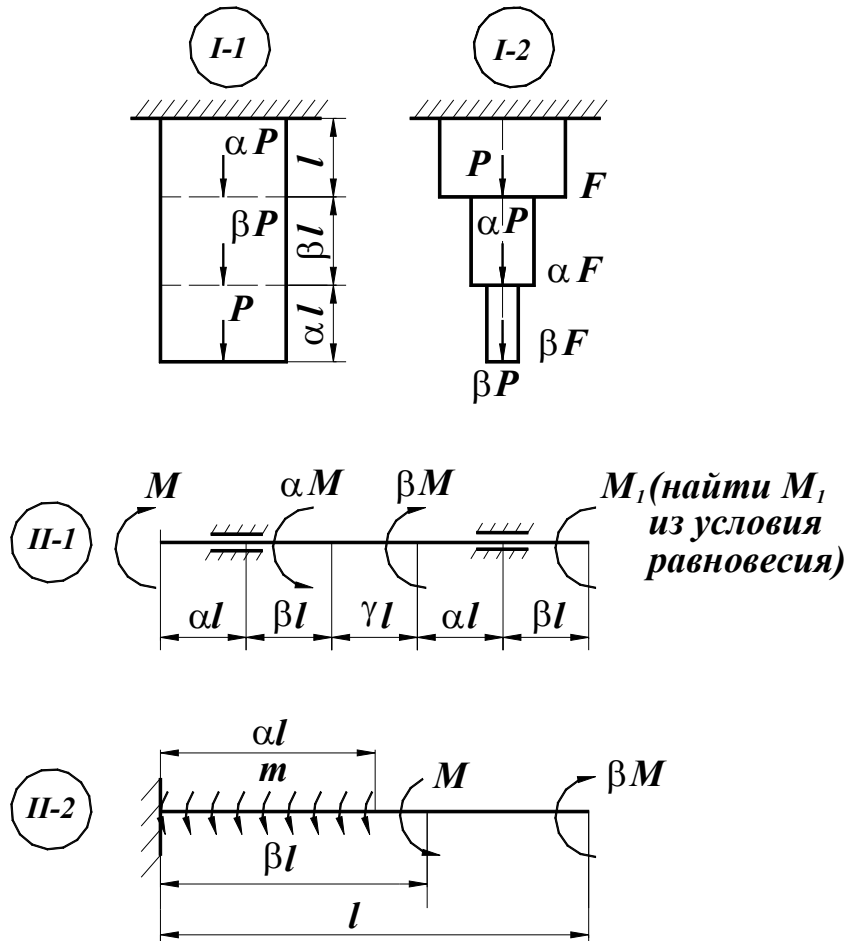
3. Построить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил для схем III-1 и III-2.

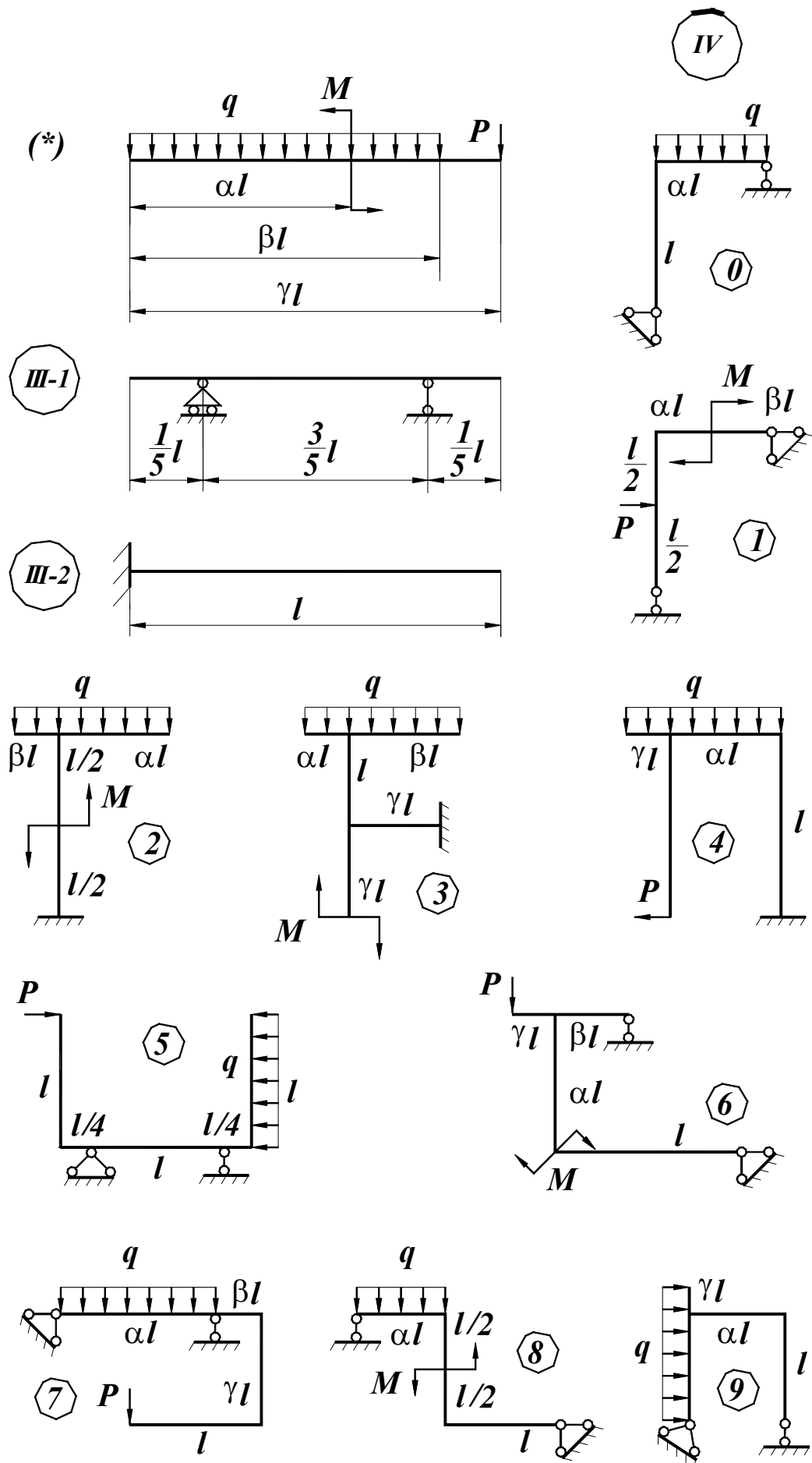
4. Для ломанных и плоских стержневых систем построить эпюры M , Q , N (схемы IV).

5. Построить эпюры внутренних усилий ($M_{изг.}$, Q , $M_{кр.}$, N) для ломанного пространственного бруса схем V-1, V-2, V-3, V-4, V-5.

Таблица 2.1 – Исходные данные

№ строки	l , м	α	β	γ	φ , °	F , м ²	M , кНм	q , кН/м	P , кН	№ схемы бруса	№ рамы
0	4,0	0,5	1,0	1,0	90	0,3	5,0	-1,0	4,0	1	9
1	4,5	0,8	0,8	0,5	60	0,25	5,5	-1,2	5,0	2	0
2	5,0	1,0	0,5	1,0	120	0,2	6,0	-1,4	6,0	3	2
3	5,5	1,0	1,0	0,5	180	0,25	6,5	1,6	7,0	4	6
4	6,0	0,8	0,8	1,0	270	0,3	7,0	1,8	-8,0	5	9
5	6,5	0,5	0,5	0,5	180	0,4	7,5	2,0	-9,0	5	4
6	7,0	0,8	1,0	1,0	120	0,35	8,0	2,2	-10,0	4	6
7	7,5	0,5	1,0	0,5	60	0,25	-8,5	2,4	9,0	3	2
8	8,0	1,0	0,8	1,0	90	0,2	-9,0	2,6	8,0	2	4
9	8,5	0,5	0,5	0,5	120	0,3	-10	2,8	7,0	1	0
	y	z	z	y	z	x	z	y	y	z	z





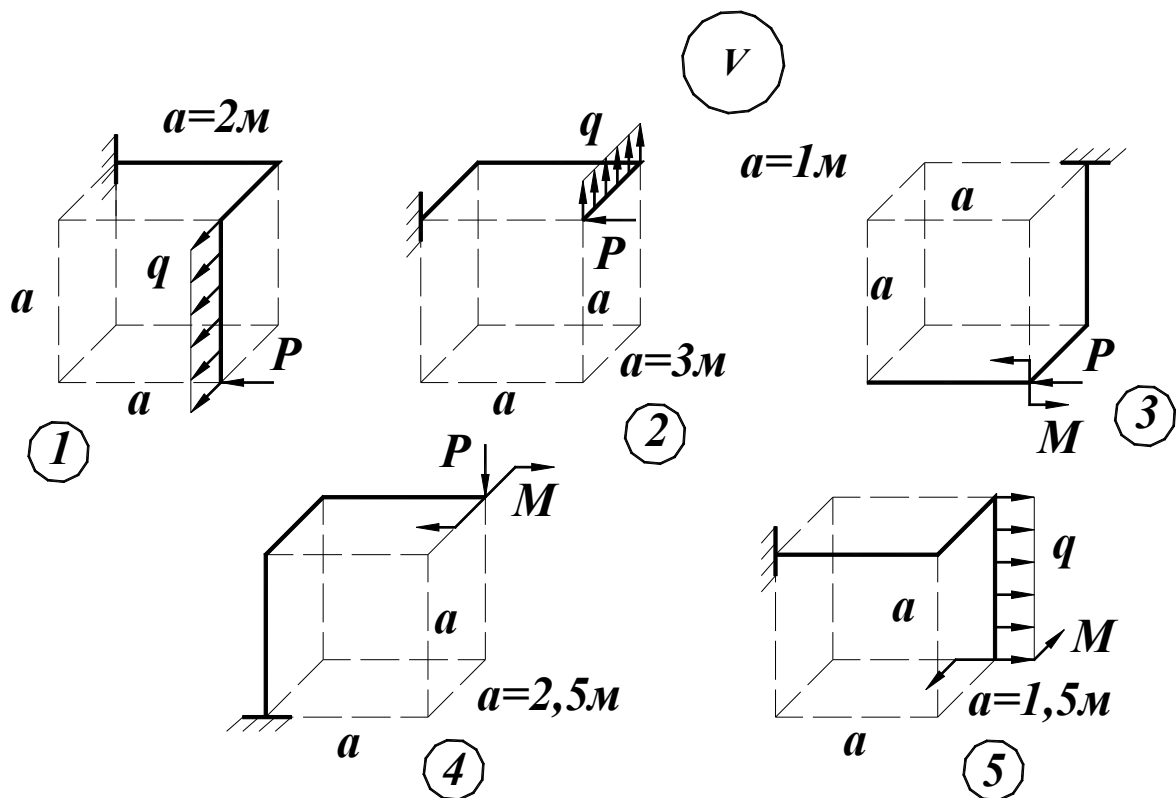


Рисунок 2.1 – Схемы для выполнения задания

Примечания:

1. Схемы брусьев вычертить в масштабе.
2. Эпюры внутренних сил выдерживать в масштабе.
3. В задаче I-2 учитывать собственный вес бруса (вес единицы объема 78 кН/м^3).
4. В задаче III схему нагрузки (*) приложить на балку III-1, затем на III-2.
5. Если сила отрицательна – изменить её направление на противоположное.
6. Задания I-1, II-1, III-2, IV-1, 3, 5, 7, 8, V выполняются на практических занятиях.**

Контрольные вопросы

1. Как определяются реакции опор?
2. Дайте определения: продольной силы, поперечной силы, изгибающего и крутящего моментов.
3. Каковы правила знаков для внутренних усилий?
4. Как вычисляются внутренние усилия по заданным внешним силовым факторам?
5. Что называется эпюрой внутреннего силового фактора?
6. Что такое плоский поперечный изгиб?
7. В чем сущность метода сечений?

3. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ №3

Определение напряжений, подбор поперечных сечений стержней из условий прочности

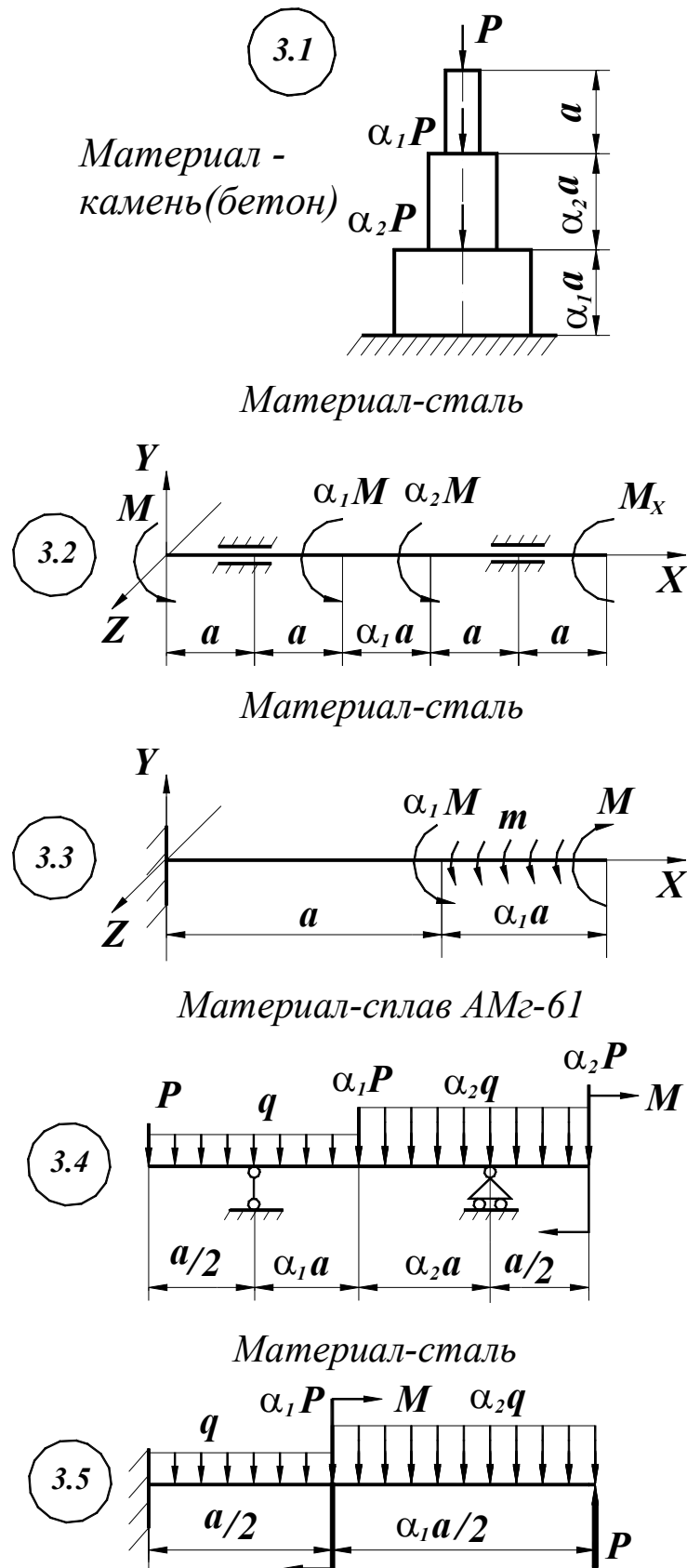


Рисунок 3.1 - Схемы для выполнения задания

Таблица 3.1 – Исходные данные

№ строки	P, кН	M, кНм	q, кН/м	α_1	α_2	a, м	β , град	γ , кН/м ³	K ₃	m, кНм/м
1	30	-38	10	0,8	1,0	4,0	20	20	1,3	5,0
2	35	36	-12	0,9	0,8	3,8	25	21	1,4	7,0
3	40	-34	-14	1,0	1,2	3,6	30	22	1,5	-4,0
4	45	-32	-16	0,9	-1,0	3,4	35	23	1,6	8,0
5	50	30	-18	-0,8	-0,8	3,2	40	24	1,7	6,0
6	55	28	20	1,0	-1,2	3,0	45	25	1,8	10
7	60	-26	-20	1,2	0,75	2,8	50	26	1,7	15
8	65	24	18	1,0	-0,75	2,6	55	27	1,6	-3,0
9	70	22	16	0,8	-0,9	2,4	60	28	1,5	2,0
0	75	20	14	0,9	0,9	2,2	65	30	1,4	11,0
	z	y	z	y	x	y	z	x	z	y

Требуется

1. Для схемы 3.1:

- а) подобрать квадратные сечения на каждом участке стержня с учетом собственного веса;
- б) в опасном сечении 2-го участка определить напряжения в площадке, наклоненной под углом β к вертикали;
- в) построить диаграмму распределения напряжений в опасном сечении 3-го участка.

2. Для схем 3.2 и 3.3:

- а) подобрать диаметр вала (для схемы 3.2 – сплошной, для схемы 3.3 – полый, при $\alpha=0,8$);
- б) определить величину и направление главных напряжений в опасном сечении;
- в) для одной из схем определить напряжение, действующее в площадке, наклоненной под углом β к горизонтали;
- г) построить диаграмму касательных напряжений в опасном сечении.

3. Для схем 3.4 и 3.5:

- а) подобрать сечения балок (для схемы 3.4 – круглое и прямоугольное с отношением $h/b=2$; для 3.5 – двутавровое);
- б) построить диаграмму нормальных и касательных напряжений в опасных сечениях;
- в) определить наибольшие главные напряжения у двутавра (схема 3.5).

Примечания:

- 1. K₃ – коэффициент запаса прочности.
- 2. Задание 3.2. выполняется на практических занятиях.**

Контрольные вопросы

- 1. Дайте определение нормальных и касательных напряжений.

2. Сформулируйте закон Гука при растяжении и чистом сдвиге.
3. Какой вид имеет эпюра нормальных напряжений в поперечном сечении стержня при растяжении-сжатии?
4. Какой вид имеет эпюра нормальных напряжений в поперечном сечении стержня при кручении?
5. Какой вид имеет эпюра нормальных напряжений в поперечном сечении стержня при изгибе?
6. Какой вид имеет дифференциальная зависимость между поперечной силой и изгибающим моментом?
7. Как вычисляется максимальное напряжение в поперечном сечении стержня при изгибе и кручении круглого сечения?

4. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ №4

Определение перемещений

1. Определение перемещений в стержневых системах методом Максвелла-Мора (способ Верещагина)

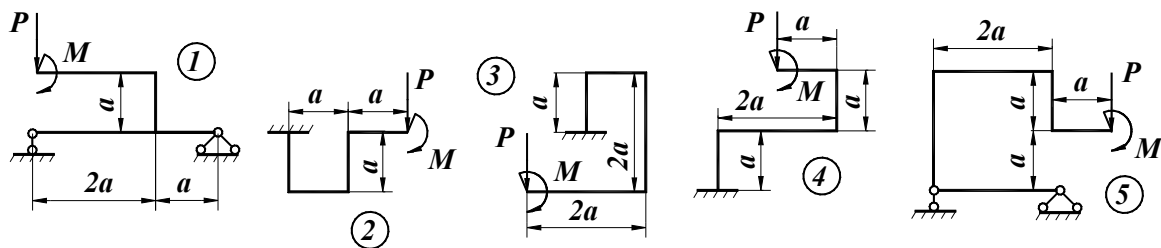
Таблица 4.1 – Исходные данные для расчета рам и ферм

№ строки	№ рамы	P, кН	M, кНм	a, м	α°	№ фермы
0	1	1	-5	1	30	2
1	5	-1	5	2	45	4
2	3	2	-4	3	60	5
3	1	-2	4	4	30	5
4	5	3	-3	5	45	4
5	1	-3	3	6	60	2
6	3	4	-2	7	30	5
7	5	-4	2	8	45	4
8	1	5	-1	9	60	2
9	5	-5	1	10	30	5
	z	x	x	y	z	z

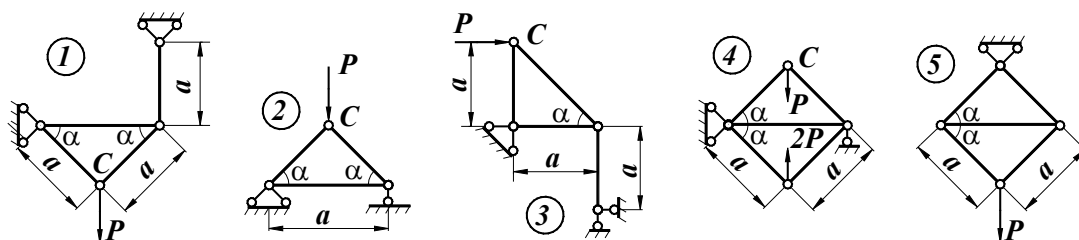
Таблица 4.2 – Исходные данные для расчета балок

№ строки	№ схемы балки	№ схемы нагрузки	P, кН	M, кНм	q, кН/м	l ₁ , м	l ₂ , м	l ₃ , м
1	1	2	1	-4	1,2	0,4	10	0,2
2	2	4	-3	2	-1,4	0,2	8	0,4
3	3	6	5	-5	1,6	0,3	9	0,6
4	4	9	-7	8	1,8	0,4	7	0,8
5	5	0	9	-10	-2,0	0,5	5	0,1
6	1	1	-2	9	1,0	0,1	6	0,2
7	2	3	4	-7	2,2	0,2	4	0,3
8	3	5	-6	5	-2,4	0,3	8	0,4
9	4	7	8	-3	2,6	0,4	10	0,5
0	5	8	-10	1	2,8	0,5	9	0,6
	y	z	x	y	z	x	y	z

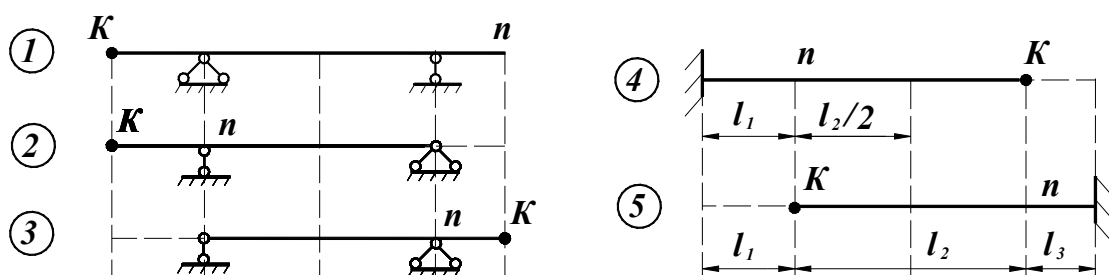
Схемы рам:



Схемы ферм:



Схемы балок:



Схемы нагрузок:

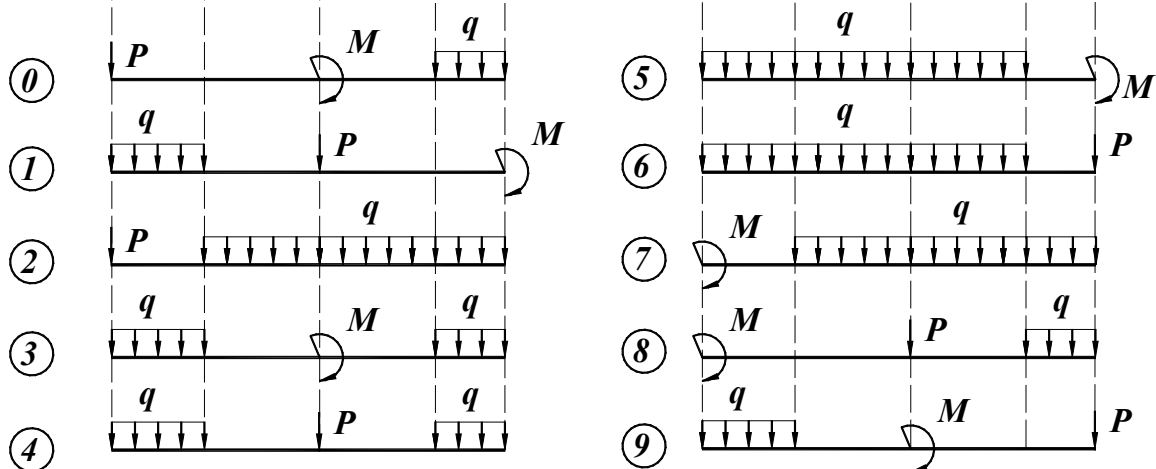


Рисунок 4.1 – Схемы для выполнения задания 1

2. Определение перемещений в стержнях

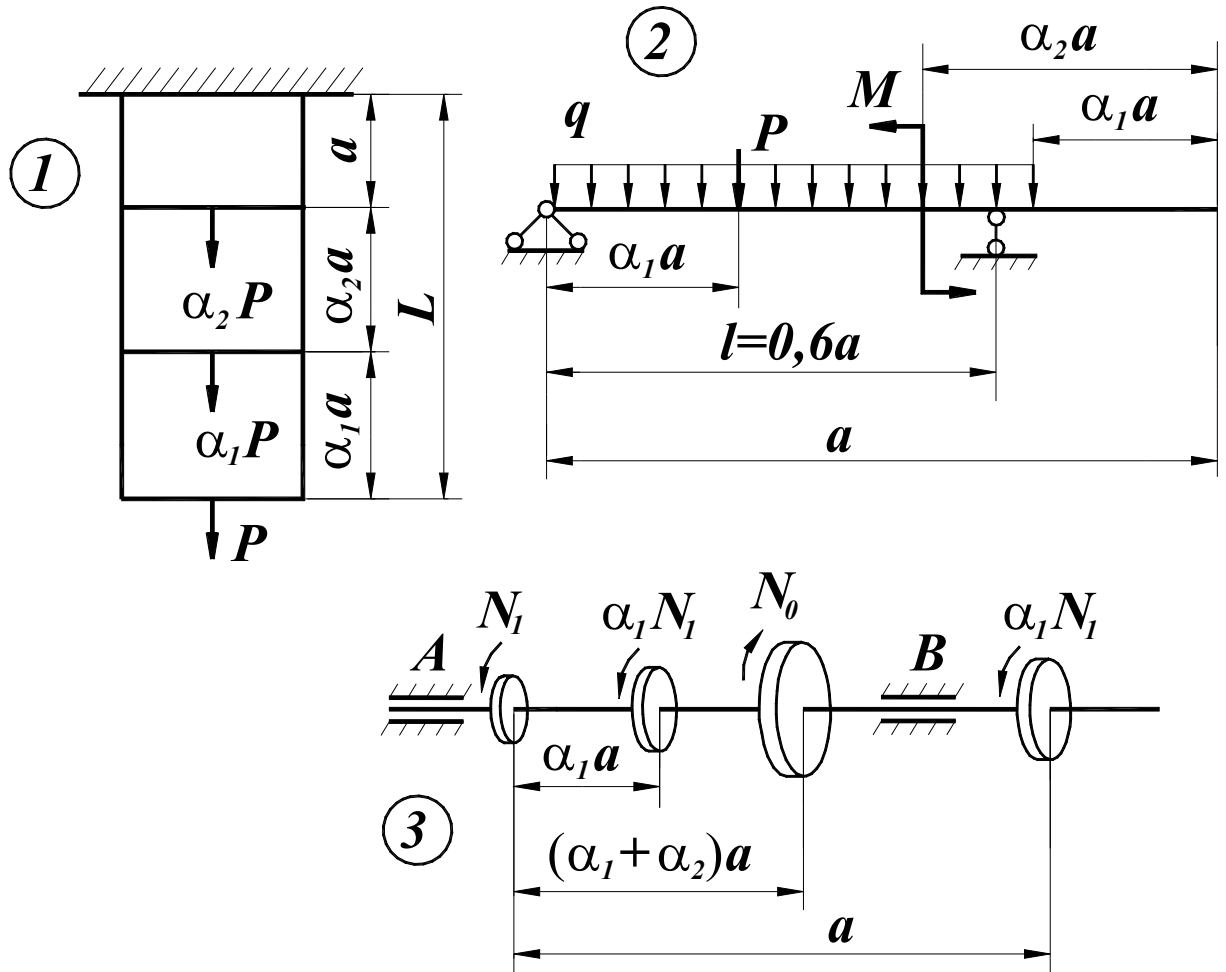


Рисунок 4.2 - Схемы для выполнения задания

Таблица 4.3 - Исходные данные для выполнения задания

№ строки	M, кНм	P, кН	q, кН/м	N ₁ , л.с.	a, м	α ₁	α ₂	n, об/мин
0	3,5	3,0	1,0	40	4,0	0,4	0,3	200
1	2,6	-3,5	2,0	60	3,8	0,8	0,8	100
2	4,0	4,0	3,0	70	3,6	0,6	0,9	300
3	8,0	4,5	1,2	120	3,4	0,8	1,0	150
4	5,0	-5,0	2,2	100	3,2	0,2	0,2	220
5	3,0	5,5	3,4	120	3,0	0,5	0,8	140
6	7,0	6,0	1,8	50	2,8	0,6	0,4	180
7	4,6	-6,5	2,6	30	2,6	0,3	0,6	250
8	2,0	7,0	1,5	140	2,4	0,4	0,2	160
9	3,5	-7,5	1,4	80	4,0	0,2	0,6	120
	x	y	z	y	z	x	z	x

Требуется

1. Для схемы №1:

($[\sigma]=160$ МПа, $[\Delta l/l]=0,5 \cdot 10^{-3}$, $E=2 \cdot 10^5$ МПа);

- а) подобрать постоянное поперечное сечение из условия прочности;
- б) определить удлинение каждого участка;
- в) построить эпюру перемещений для всего стержня;
- г) проверить сечение из условия жесткости.

2. Для схемы №2:

($[\sigma]=160$ МПа, $[f/l]=1/200$, $E=2 \cdot 10^5$ МПа);

- а) построить эпюры Q , $M_{изг}$;
- б) подобрать двутавровое сечение;
- в) изобразить, пользуясь эпюрой $M_{изг}$, примерный вид изогнутой оси;
- г) уточнив характер изогнутой оси, определив по методу начальных параметров прогибы и углы поворота посередине пролета и на свободном конце;
- д) проверить сечение по условию жесткости.

3. Для схемы №3:

- а) определить мощность N_0 на ведущем шкиве;
- б) определить скручивающие моменты, передаваемые каждым шкивом;
- в) построить эпюру крутящих моментов $M_{кр}$;
- г) определить из условия прочности при кручении и условия жесткости диаметры вала на различных участках, дать эскиз ступенчатого вала, $[\tau]=75$ МПа;
- д) построить эпюру углов закручивания.

Примечания:

1. Если в схеме №3 два шкива, ведущий и ведомый, совместятся в одном сечении или расположатся на расстоянии меньшем 0,2 м, то ведомый шкив можно исключить.
2. Подшипник В можно разместить в любом сечении вала.
3. $[\theta]=0,3$ град./м.
4. Схемы рам 2, 4 и ферм 1, 3 выполняются на практических занятиях. **

Контрольные вопросы

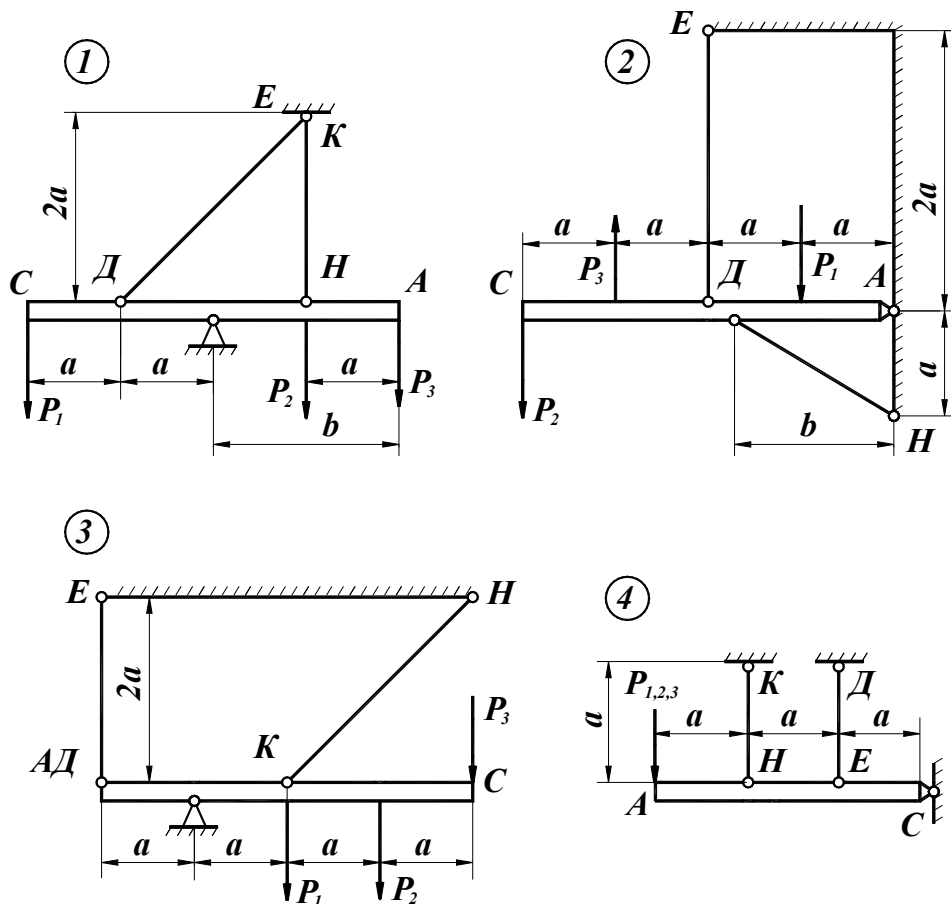
1. Запишите формулу Максвелла-Мора для вычисления перемещений в стержнях при учете изгибающих моментов продольных и поперечных сил.
2. Как вычислить интеграл Мора по способу Верещагина?
3. Поясните алгоритм вычисления перемещения в данном сечении стержня и угла поворота данного сечения вычислением интеграла Мора по способу Верещагина.

4. Запишите формулу Максвелла для вычисления перемещений в стержневых системах, которые работают только на растяжение-сжатие.
5. Запишите формулу для вычисления угла поворота сечения вала при кручении.
6. Запишите формулу для вычисления перемещения стержня при растяжении-сжатии.
7. Что собой представляют условие прочности при растяжении-сжатии, кручении, изгибе стержней?

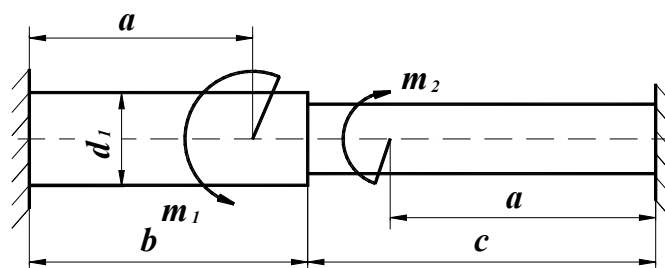
5. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ №5

Статически неопределимые системы

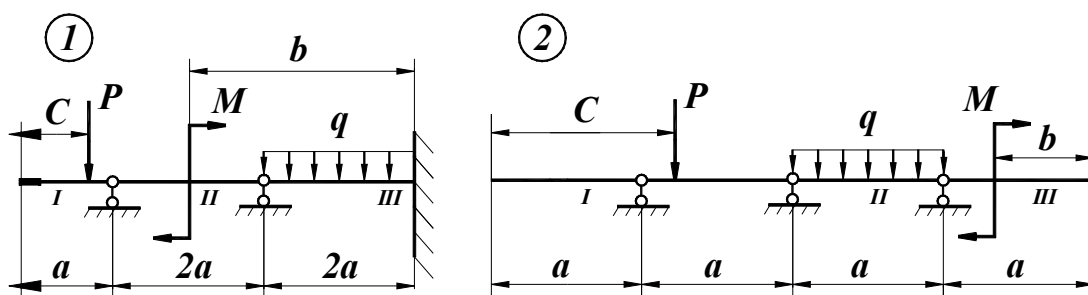
Задача I



Задача II



Задача III



Задача IV

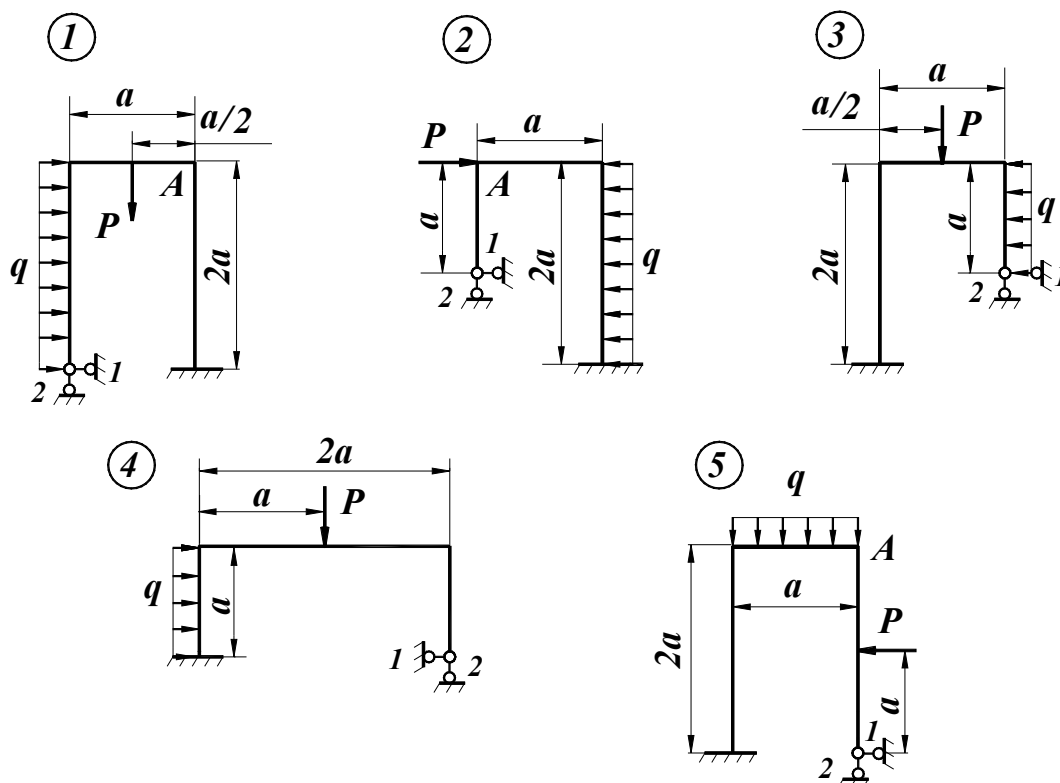


Рисунок 5.1 – Схемы для выполнения задания

Задача I

Для заданной стержневой системы определить диаметры стержней ДЕ и КН, если известно отношение их площадей:

$$\frac{F_{ДЕ}}{F_{КН}} = \alpha; \quad a = 2 \text{ м}; \quad \beta a = b.$$

Материал стержней: сталь-3; $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$.

Брус АС считать абсолютно жестким.

Размер "b" всегда откладывать от точки А.

Алгоритм решения задачи:

1. Вычертить схему стержневой системы.
2. Установить степень статической неопределимости системы.

3. Раскрыть статическую неопределимость (с помощью метода сил, либо условия совместимости деформаций).

4. Подобрать сечения стержня.

Таблица 5.1 – Исходные данные для задачи I

№ строки	α	β	P	P_i , кН	№ схемы
0	1	0,5	P_1	5	1
1	2	1,5	P_2	-4	2
2	3	2,5	P_3	3	3
3	1	3,5	P_3	-6	4
4	3	2,5	P_2	4	2
5	4	1,5	P_1	5	3
6	2	0,5	P_1	-3	2
7	4	3,5	P_3	4	4
8	1	2,5	P_1	-5	3
9	2	1,5	P_2	6	4
	x	y	z	x	y

Задача II

Построить эпюру крутящих моментов и углов закручивания круглого бруса ступенчато-переменного сечения, жестко закрепленного по концам при действии на него скручивающих моментов. Модуль сдвига $G=8 \cdot 10^4$ МПа.

Алгоритм решения задачи:

1. Вычертить схему вала.
2. Раскрыть статическую неопределимость вала методом сил.
3. Построить эпюру крутящих моментов и углов закручивания.

Таблица 5.2 – Исходные данные для задачи II

№ строки	d_1 , м	d_2 , м	a, м	c, м	b, м	m_1 , кНм	m_2 , кНм
0	0,1	0,08	0,4	1	2	1	-3
1	0,12	0,06	0,5	2	1	2	-4
2	0,14	0,07	0,6	2	3	3	2
3	0,16	0,05	0,8	2	2	4	1
4	0,18	0,06	0,7	1	3	-2	3
5	0,2	0,07	0,9	3	1	-3	2
6	0,16	0,08	1	3	2	-4	3
7	0,14	0,05	1,1	1,5	2,5	-1	4
8	0,12	0,06	1,2	1,5	2	2	4
9	0,1	0,08	1,4	1	1	3	-1
	x	y	z	y	z	z	y

Задача III

Для заданной балки подобрать двутавровое сечение. Построить ориентировочно упругую линию балки.

Материал балки: сталь-3; $E=2 \cdot 10^5$ МПа; $[\sigma]=160$ МПа; $a=1$ м.

Нагрузка "q" размещена по всей длине "l" пролета.

Алгоритм решения задачи:

1. Пользуясь уравнением трёх моментов, раскрыть статическую неопределимость балки.
2. Построить эпюры $M_{изг}$ и Q .
3. Определить по нормальным напряжениям размеры двутаврового сечения балки.

Таблица 5.3 – Исходные данные для задачи III

№ строки	q, кН/м	P, кН	M, кНм	№ i-го прол.	№ схем	b, м	c, м
0	0,5	1	1	II	2	0,5a	0
1	1	2	2	I	2	4a	0,5a
2	1,5	3	3	II	2	2,5a	1,5
3	-2	-5	5	III	1	1,5a	a
4	0,5	-1	-1	I	1	2a	2,5a
5	-1	4	4	I	2	3a	3,5a
6	2	-3	-3	III	1	4a	1,5a
7	0,5	-4	-4	II	2	0,5a	0,5a
8	1,5	2	-5	III	1	1a	0
9	1	2	-2	II	2	2,5a	3,5a
	x	y	z	y	z	y	z

Задача IV

Для заданной статически неопределимой рамы построить эпюры поперечных сил, осевых сил и изгибающих моментов. Подобрать двутавровое сечение.

Материал рамы: сталь-3; $[\sigma]=160$ МПа; $a=1$ м.

Изображая опору "B", необходимо из двух связей (1 и 2) оставить только ту, которая указана в таблице.

Алгоритм решения задачи:

1. Выбрать основную систему и построить эпюры изгибающих моментов от внешних и единичных нагрузок в основной системе.
2. Определить коэффициент и свободный член канонического уравнения (жесткость рамы постоянна).
3. Решить каноническое уравнение методом сил и построить эпюры Q , $M_{изг}$ и N .

Примечание – Задача I выполняется на практических занятиях.

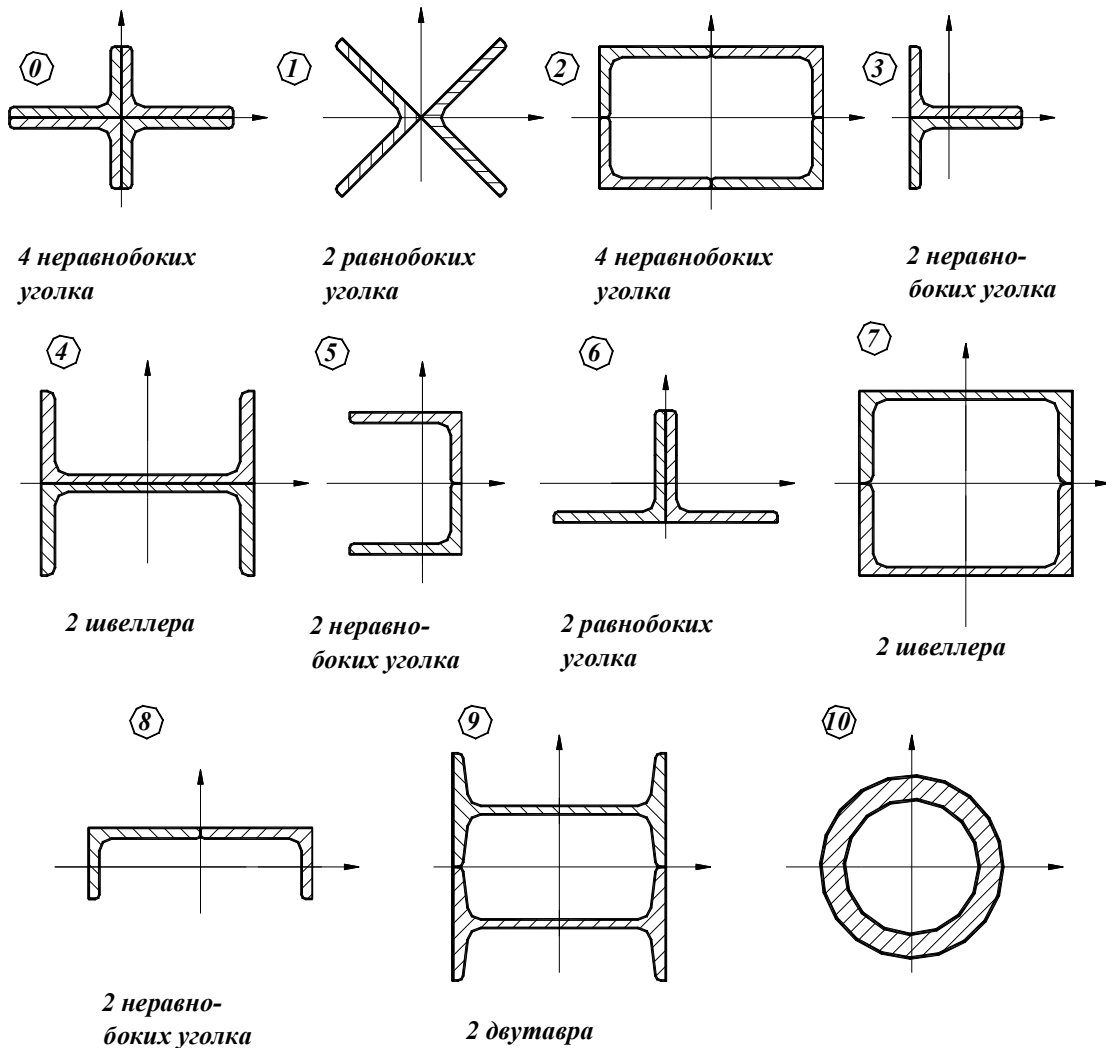
Контрольные вопросы

1. Как определяется степень статической неопределимости стержневой системы?

2. Поясните идею метода сил при раскрытии статической неопределенности стержневых систем.
3. Как записывается каноническое уравнение метода сил в случае один раз статически неопределимой системы?
4. Как вычисляются коэффициенты канонических уравнений метода сил?
5. Что собой представляет уравнение трех моментов для раскрытия статической неопределенности неразрезной балки?
6. Что такое основная и эквивалентная системы, используемые в методе сил?
7. Поясните методику построения эпюр внутренних усилий в статически неопределимых системах?

6. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ №6

Проектировочный расчет на устойчивость сжатого стержня



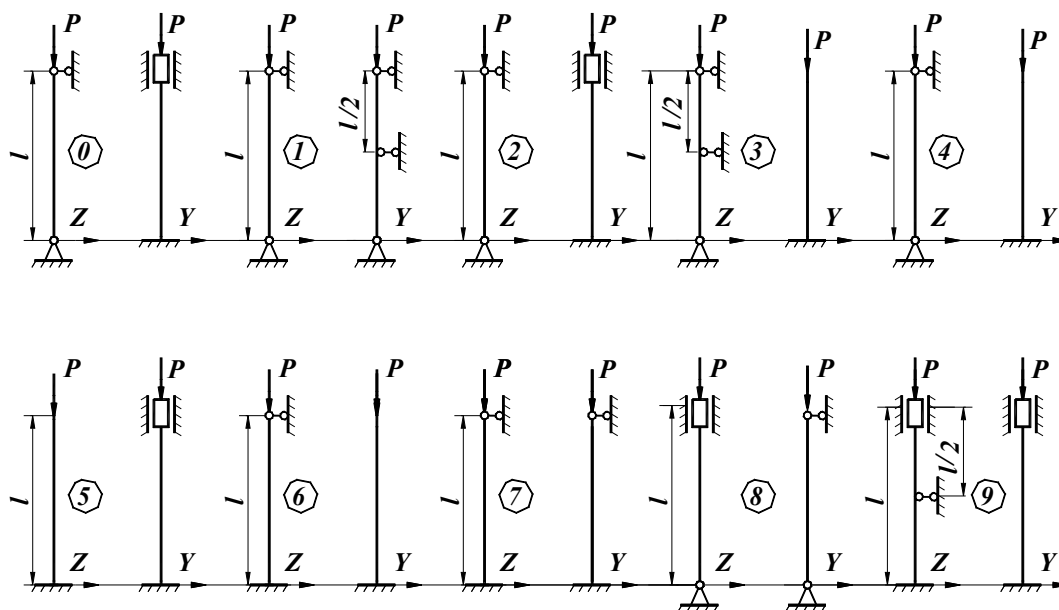


Рисунок 6.1 – Схемы для выполнения задания

Таблица 6.1 – Исходные данные для расчета

№ строки	№ схемы закрепленного стержня	P, кН	l, м	№ схемы поперечного сечения
0	0	11	3	9
1	1	10	1,5	8
2	2	16	4,5	7
3	3	12	2,5	6
4	4	13	4	5
5	5	11	3,5	4
6	6	15	2	3
7	7	17	5	2
8	8	18	2	1
9	9	20	6	0
	Z	Y	Z	Y

Порядок выполнения задания

1. Поскольку гибкость стержня обуславливается как способом закрепления концов, так и формой поперечного сечения, то необходимо расположить поперечное сечение по отношению к осям "Y" и "Z" так, чтобы стержень имел наименьшую гибкость. Это, очевидно, обеспечит наименьшие размеры элементов поперечного сечения при указанной нагрузке P.

2. В плоскости наибольшей гибкости для принятого рационального расположения поперечного сечения рассчитать стойку (проектировочный расчет) на устойчивость по коэффициенту "φ" уменьшения основного допускаемого напряжения (подобрать номера стандартных элементов, составляющих поперечное сечение).

3. Проверить на устойчивость стойку в другой плоскости (проверочный расчет).

Материал: сталь-3; $[\sigma]=160$ МПа.

Примечание – Схема поперечного сечения №10 рассматривается на практических занятиях.**

Контрольные вопросы

1. Как вычисляются критические силы для стержней с различным характером закрепления концов?
2. Что такое гибкость?
3. Чем отличается проверочный расчет стержней на устойчивость от проектировочного расчета?
4. Почему в проектировочном расчете используется метод итераций?
5. Поясните суть коэффициента уменьшения основного допускаемого напряжения при расчете на устойчивость стержней.
6. Что такое коэффициент приведения длины в расчетах на устойчивость?
7. Как определяется коэффициент уменьшения основного допускаемого напряжения по известной гибкости стержня?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирьянов Д.В. Самоучитель Mathcad / Д.В. Кирьянов. – Изд-во БХВ. – Петербург, 2003. – 560 с.
2. Бертяев В.Д. Теоретическая механика на базе Mathcad: Практикум / В.Д. Бертяев. – Изд-во БХВ – Петербург, 2005. – 752 с.
3. Макаров Е.Г. Сопротивление материалов на базе Mathcad / Е.Г. Макаров. – Изд-во БХВ – Петербург, 2004. – 512 с.
4. Геометрические характеристики плоских сечений: Методические указания к выполнению расчетно-графического задания №1 по дисциплине «Сопротивление материалов» для студентов механических специальностей всех форм обучения / Сост. Г.П. Григорьянц. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 2001. – 12с.
5. Построение эпюр внутренних усилий: Методические указания к расчетно-проектировочной работе №2 по сопротивлению материалов для студентов механических специальностей дневной и заочной формы обучения / Сост. Л.А. Кондратов, Е.А. Калугин. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 1997. – 20 с.
6. Методические указания к расчетно-проектировочной работе №4 по курсу сопротивление материалов: «Определение перемещений и проверка жесткости» для самостоятельной работы студентов / Сост. Г.В. Балашов, О.П. Бузанова. – Севастополь: КМУ СПИ, 1988. – 24 с.
7. Методические рекомендации по выполнению расчетно-проектировочной работе №5 по курсу сопротивление материалов (расчет

статически неопределимых систем). Для специальностей 0514, 0525, 0501, 0531, 1612 / Сост. О.М. Молчанов. – Севастополь: КМУ СПИ, 1981. – 20 с.

8. Расчет сжатого стержня на устойчивость: Методические указания к выполнению расчетно-графического задания №6 по дисциплине "Сопротивление материалов" для студентов механических специальностей всех форм обучения / Сост. В.В. Леонтьев, Г.П. Григорьянц. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 2001. – 12 с.

9. Методические указания и контрольные задания для самостоятельной работы студентов заочной и дневной форм обучения по дисциплине «Сопротивление материалов» / Сост. Э.В. Прошкин. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003. – 43 с.

10. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. - 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Наук. Думка, 1988. – 736 с.

11. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учебник для втузов / В.И. Феодосьев. – 9-е изд., перераб. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 512 с.

** В соответствии с рекомендациями кафедры “Кораблестроение и океанотехника”.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Примеры решения задач в Mathcad

РГЗ №1

ORIGIN := 1

Вводим дополнительные единицы измерения $\text{см} := 0.01 \cdot \text{м}$ $\text{град} := \text{deg}$

Задано: составное сечение, состоящее из 2-х неравнобоких уголков сечением 63*40*6 мм.

Найти: положение главных центральных осей V и U и величины главных центральных моментов инерции $J_{\max}$ и $J_{\min}$ составного сечения.

Сечение состоит из двух элементов: $n := 2$ $i := 1..n$

1. Вводим необходимые данные из таблиц сортамента в виде элементов векторов

Площадь поперечного сечения уголков $F := (5.9 \ 5.9)$ $F := F^T \cdot \text{см}^2$

Координаты центров тяжести уголков: $Y := (0.99 \ 8.18)$ $Y := Y^T \cdot \text{см}$ $Z := (2.12 \ 0.99)$ $Z := Z^T \cdot \text{см}$

Осевые моменты инерции уголков относительно собственных центральных осей

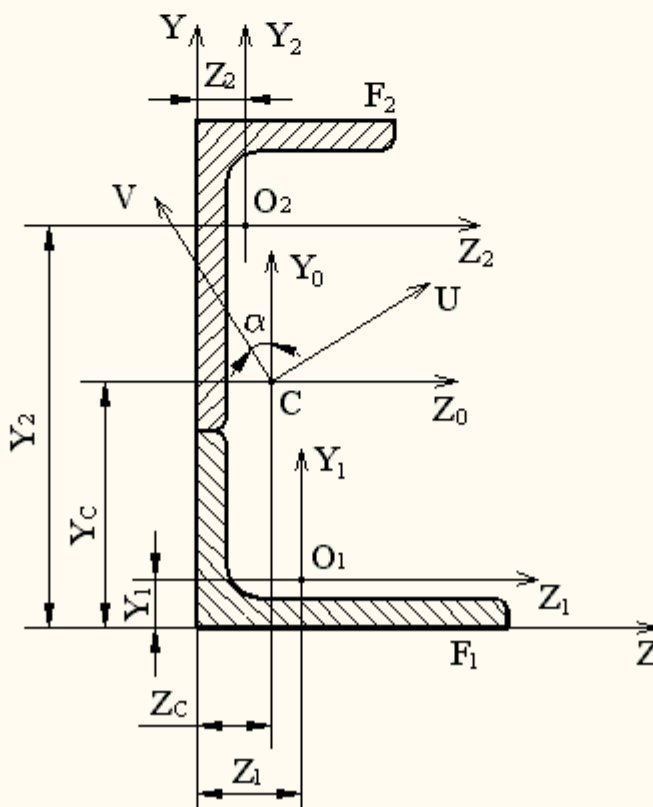
$$J_z := (7.28 \ 23.3) \quad J_z := J_z^T \cdot \text{см}^4 \quad J_y := (23.3 \ 7.28) \quad J_y := J_y^T \cdot \text{см}^4$$

Угол наклона главной собственной оси уголка $b := (0.393 \ 0.393)$ $b := b^T$ $\beta := \text{atan}(b)$

Нахождение собственных центробежных моментов инерции уголков

$$J_{zy_i} := \frac{-(J_{y_i} - J_{z_i}) \cdot \tan(2 \cdot \beta_i)}{2} \quad J_{zy} = \begin{pmatrix} -7 \\ 7 \end{pmatrix} \text{см}^4$$

2. Вычерчиваем сечение в масштабе и выбираем рациональное расположение вспомогательных осей координат Z и Y.



3. Определяем координаты центра тяжести составного сечения

$$Y_c := \frac{\sum_{j=1}^n F_j \cdot Y_j}{\sum_{j=1}^n F_j} \quad Y_c = 5 \text{ см}$$

$$Z_c := \frac{\sum_{j=1}^n F_j \cdot Z_j}{\sum_{j=1}^n F_j} \quad Z_c = 1.56 \text{ см}$$

4. Проводим через центр тяжести параллельно вспомогательным осям центральные оси Z_0 и Y_0 и определяем относительно них величины осевых и центробежного моментов инерции

$$J_{z0} := \sum_{j=1}^n \left[J_{zj} + F_j \cdot (Y_j - Y_c)^2 \right] \quad J_{z0} = 183 \text{ см}^4$$

$$J_{y0} := \sum_{j=1}^n \left[J_{yj} + F_j \cdot (Z_j - Z_c)^2 \right] \quad J_{y0} = 34 \text{ см}^4$$

$$J_{zy0} := \sum_{j=1}^n \left[J_{zyj} + F_j \cdot (Y_j - Y_c) \cdot (Z_j - Z_c) \right] \quad J_{zy0} = -24 \text{ см}^4$$

5. Находим положение главных центральных осей и величины главных центральных моментов инерции

5.1. Угол наклона главных осей

$$\alpha := \frac{1}{2} \cdot \text{atan} \left(\frac{-2 \cdot J_{zy0}}{J_{z0} - J_{y0}} \right) \quad \alpha = 9 \text{ град}$$

5.2. Главные центральные моменты инерции

$$J_{\max} := \frac{J_{z0} + J_{y0}}{2} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(J_{z0} - J_{y0})^2 + 4 \cdot J_{zy0}^2} \quad J_{\max} = 187 \text{ см}^4$$

$$J_{\min} := \frac{J_{z0} + J_{y0}}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(J_{z0} - J_{y0})^2 + 4 \cdot J_{zy0}^2} \quad J_{\min} = 31 \text{ см}^4$$

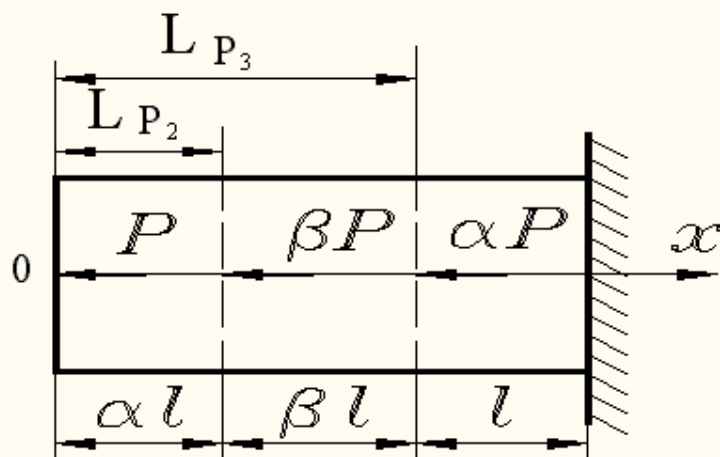
РГЗ №2 Задача I-1

ORIGIN := 1

Вводим дополнительные единицы измерения

 $m := m$ $kH := 1000 \cdot N$

Дано

 $P := 4 \cdot kH$ $\beta := 0.9$ $\alpha := 0.9$ $l := 4 \cdot m$ 

Построить эпюру продольных сил

1. Формируем вектор внешних продольных сил P и вектор расстояний L_p от начала координат до места, где приложена сила

$$P := \begin{pmatrix} P \\ \beta \cdot P \\ \alpha \cdot P \end{pmatrix} \quad P = \begin{pmatrix} 4 \\ 3.6 \\ 3.6 \end{pmatrix} kH \quad L_p := \begin{pmatrix} 0 \\ \alpha \cdot l \\ \alpha \cdot l + \beta \cdot l \end{pmatrix} \quad L_p = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.6 \\ 7.2 \end{pmatrix} m$$

Количество внешних продольных сосредоточенных сил $n := 3$

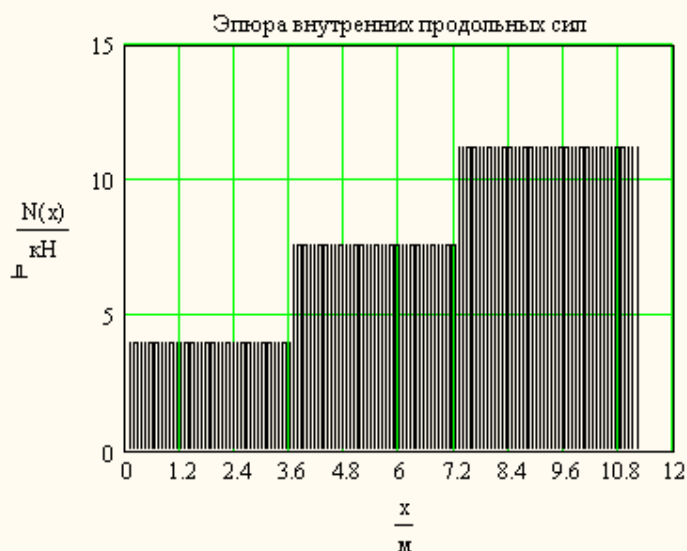
2. Записываем выражение для внутренних продольных усилий N в общем виде с использованием булевых операторов (условий)

$$N(x) := \sum_{i=1}^n P_i \cdot (x > L_{p_i})$$

3. Длина бруса

$$L := (\alpha \cdot l + \beta \cdot l + l) \quad x := 0 \cdot m, \frac{L}{100} \dots L$$

4.



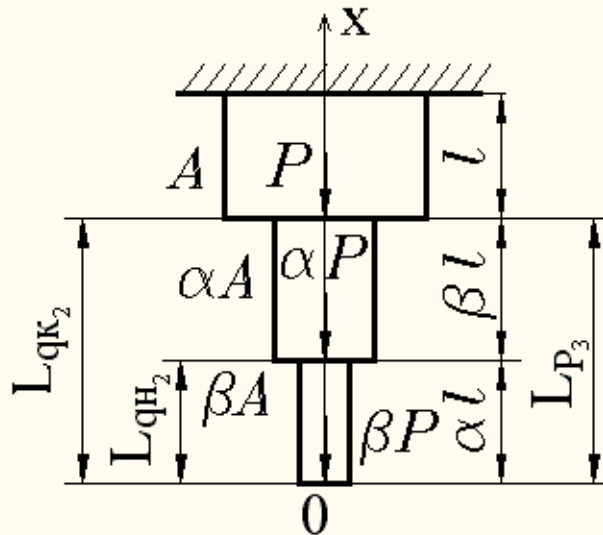
РГЗ №2 Задача I-2

ORIGIN := 1

Вводим дополнительные единицы измерения

м := m кН := 1000 · N

Дано



$$\gamma := 78 \cdot \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}$$

$$A := 0.3 \cdot \text{м}^2$$

$$P := 50 \cdot \text{кН}$$

$$\beta := 0.9$$

$$\alpha := 0.7$$

$$l := 4 \cdot \text{м}$$

Построить эпюру продольных сил с учетом собственного веса стержня

1. Формируем вектор внешних продольных сил P и вектор расстояний L_P от начала координат до места, где приложена сила

$$P := \begin{pmatrix} \beta \cdot P \\ \alpha \cdot P \\ P \end{pmatrix} \quad P = \begin{pmatrix} 45 \\ 35 \\ 50 \end{pmatrix} \text{ кН} \quad L_P := \begin{pmatrix} 0 \\ \alpha \cdot l \\ \alpha \cdot l + \beta \cdot l \end{pmatrix} \quad L_P = \begin{pmatrix} 0 \\ 2.8 \\ 6.4 \end{pmatrix} \text{ м}$$

Количество внешних продольных сосредоточенных сил $n := 3$

2. Формируем вектор интенсивностей внешних распределенных нагрузок (собственный вес) q и вектора расстояний от начала координат до начала L_{qn} и до конца L_{qk} распределенной нагрузки

$$q := \begin{pmatrix} A \cdot \beta \cdot \gamma \\ A \cdot \alpha \cdot \gamma \\ A \cdot \gamma \end{pmatrix} \quad L_{qn} := \begin{pmatrix} 0 \\ \alpha \cdot l \\ \alpha \cdot l + \beta \cdot l \end{pmatrix} \quad L_{qk} := \begin{pmatrix} \alpha \cdot l \\ \alpha \cdot l + \beta \cdot l \\ \alpha \cdot l + \beta \cdot l + l \end{pmatrix}$$

$$q = \begin{pmatrix} 21.06 \\ 16.38 \\ 23.4 \end{pmatrix} \frac{\text{кН}}{\text{м}} \quad L_{qn} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2.8 \\ 6.4 \end{pmatrix} \text{ м} \quad L_{qk} = \begin{pmatrix} 2.8 \\ 6.4 \\ 10.4 \end{pmatrix} \text{ м}$$

Количество внешних продольных распределенных сил $m := 3$

3. Записываем выражение для внутренних продольных усилий N в общем виде с использованием булевых операторов (условий)

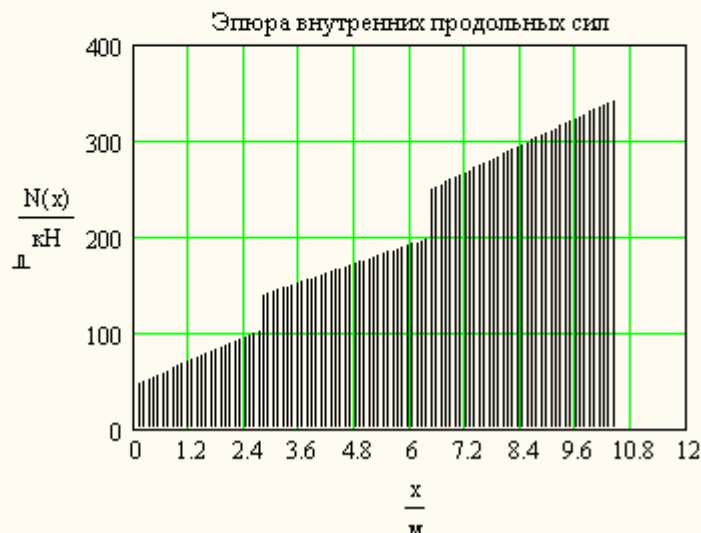
$$N(x) := \sum_{i=1}^n P_i \cdot (x > L_{P_i}) + \sum_{i=1}^m q_i \cdot (x - L_{qn_i}) \cdot (x > L_{qn_i}) - \sum_{i=1}^m q_i \cdot (x - L_{qk_i}) \cdot (x > L_{qk_i})$$

4. Длина бруса

$$L := (\alpha \cdot 1 + \beta \cdot 1 + 1)$$

$$x := 0 \cdot m, \frac{L}{100} \dots L$$

5.



РГЗ №2 Задача II-1

ORIGIN := 1

Вводим дополнительные единицы измерения

$$m := m \quad \text{кНм} := 1000 \frac{N}{m}$$

Дано

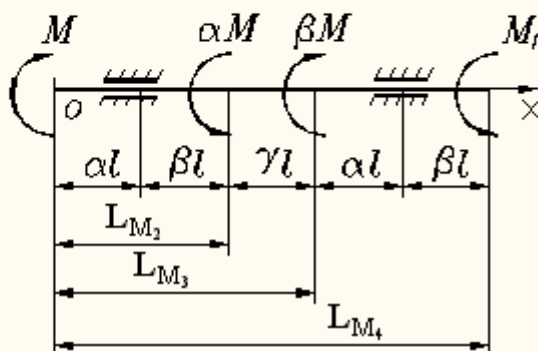
$$l := 4 \text{ м}$$

$$M := 5.0 \cdot \text{кНм}$$

$$\alpha := 0.5$$

$$\beta := 0.9$$

$$\gamma := 0.6$$



Найти M_1 из условия равновесия и построить эпюру крутящих моментов.

1. Из условия равновесия находим M_1

$$M_1 := M + \beta \cdot M - \alpha \cdot M$$

$$M_1 = 7 \text{ кНм}$$

2. Формируем вектор внешних крутящих моментов M и вектор расстояний L_M от начала координат до мест, где приложены моменты

$$M := \begin{pmatrix} M \\ -\alpha \cdot M \\ \beta \cdot M \\ -M_1 \end{pmatrix}$$

$$M = \begin{pmatrix} 5 \\ -2.5 \\ 4.5 \\ -7 \end{pmatrix} \text{ кНм}$$

$$L_M := \begin{pmatrix} 0 \\ (\alpha + \beta) \cdot l \\ (\alpha + \beta + \gamma) \cdot l \\ (2 \cdot \alpha + 2 \cdot \beta + \gamma) \cdot l \end{pmatrix}$$

$$L_M = \begin{pmatrix} 0 \\ 5.6 \\ 8 \\ 13.6 \end{pmatrix} \text{ м}$$

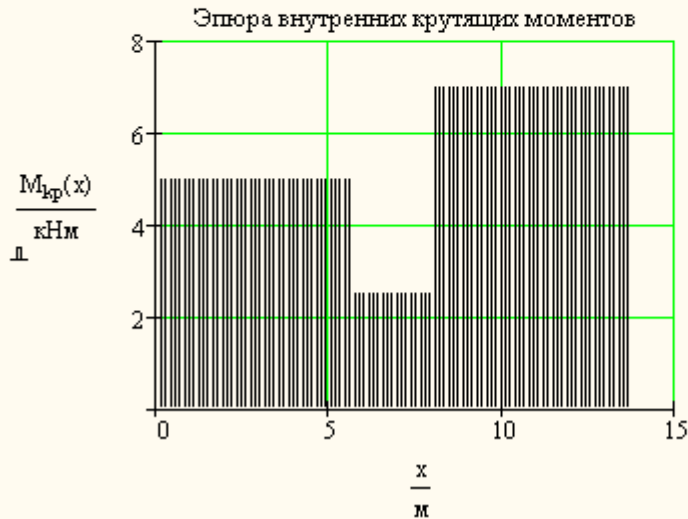
Количество внешних моментов $n := 4$

3. Записываем выражение для внутреннего крутящего момента $M_{кр}$ в общем виде с использованием булевого оператора (условия)

$$M_{кр}(x) := \sum_{i=1}^n M_i \cdot (x > L_{M_i})$$

$$x := 0 \cdot m, \frac{L_{M_4}}{100} \dots L_{M_4}$$

4.



РГЗ №2 Задача II-1

ORIGIN := 1

Вводим дополнительные единицы измерения $m := m$ $kNm := 1000 \frac{N}{m}$

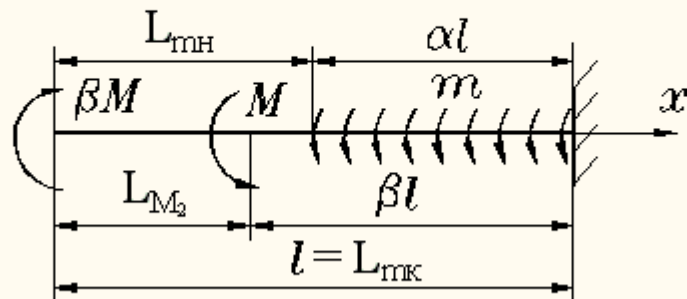
Дано

$$l := 4 \text{ м}$$

$$M := 5.0 \cdot kNm$$

$$\alpha := 0.5$$

$$\beta := 0.6$$



Построить эпюру крутящих моментов.

1. Формируем вектор внешних крутящих моментов M и вектор расстояний L_M от начала координат до мест, где приложены моменты

$$M := \begin{pmatrix} -\beta \cdot M \\ M \end{pmatrix} \quad M = \begin{pmatrix} -3 \\ 5 \end{pmatrix} kNm \quad L_M := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 - \beta \cdot 1 \end{pmatrix} \quad L_M = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.6 \end{pmatrix} m$$

Количество внешних сосредоточенных моментов $n := 2$

2. Вводим величину внешнего распределенного момента m и расстояния от начала координат до начала L_{mh} и до конца L_{mk} распределенного момента

$$m := 0.6 \cdot \frac{kNm}{m} \quad L_{mh} := (1 - \alpha \cdot 1) \quad L_{mk} := 1$$

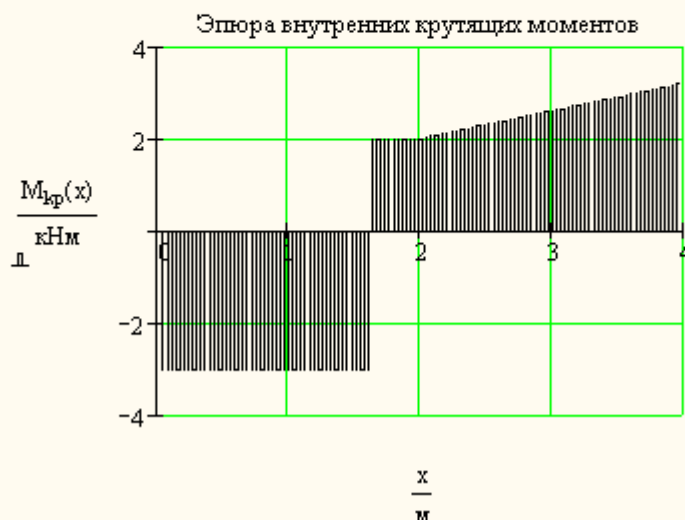
$$L_{mh} = 2 \text{ м} \quad L_{mk} = 4 \text{ м}$$

3. Записываем выражение для внутреннего крутящего момента $M_{кр}$ в общем виде с использованием булевых операторов (условий)

$$M_{кр}(x) := \sum_{i=1}^n M_i \cdot (x > L_{M_i}) + [m \cdot (x - L_{mH}) \cdot (x > L_{mH}) - m \cdot (x - L_{mK}) \cdot (x > L_{mK})]$$

$$x := 0 \cdot m, \frac{1}{100} \dots 1$$

4.



РГЗ №2 Задача III-1

ORIGIN := 1

Вводим дополнительные единицы измерения $m := m$ $кН := 1000 \cdot N$ $кНм := 1000 \cdot N \cdot m$

Дано $l := 4$ $\alpha := 0.5$ $\beta := 0.85$ $\gamma := 1$

Сосредоточенная сила P и расстояние от точки ее приложения до начала координат L_p

$P := -4 \cdot кН$ $L_p := \gamma \cdot l \cdot m$

Сосредоточенный момент M и расстояние от точки его приложения до начала координат L_M

$M := -5 \cdot кНм$ $L_M := \alpha \cdot l \cdot m$

Равномерно распределенная нагрузка интенсивности q и расстояния от начала координат до начала и до конца действия распределенной нагрузки L_{qH} и L_{qK} соответственно

$q := -1 \cdot \frac{кН}{м}$ $L_{qH} := 0 \cdot m$ $L_{qK} := \beta \cdot l \cdot m$

Расстояния от начала координат до опор A и B L_{RA} и L_{RB} соответственно

$L_{RA} := 0.2 \cdot l \cdot m$ $L_{RB} := 0.8 \cdot l \cdot m$

Длина балки $L := l \cdot m$ $x := 0 \cdot m, \frac{L}{100} \dots L$

Построить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил.

1. Записываем выражения для внутренних поперечных сил Q в общем виде с использованием булевых операторов (условий)

$$Q_P(x) := P \cdot (x \geq L_P)$$

$$Q_q(x) := q \cdot (x - L_{qH}) \cdot (x \geq L_{qH}) - q \cdot (x - L_{qK}) \cdot (x \geq L_{qK})$$

$$Q_{RA}(R_A, x) := R_A \cdot (x \geq L_{RA}) \quad Q_{RB}(R_B, x) := R_B \cdot (x \geq L_{RB})$$

$$Q(R_A, R_B, x) := Q_{RA}(R_A, x) + Q_{RB}(R_B, x) + Q_P(x) + Q_q(x)$$

2. Записываем выражения для внутренних изгибающих моментов в общем виде с использованием булевых операторов (условий)

$$M_{zM}(x) := M \cdot (x \geq L_M)$$

$$M_{zP}(x) := P \cdot (x - L_P) \cdot (x \geq L_P)$$

$$M_{zq}(x) := q \cdot \frac{(x - L_{qH})^2}{2} \cdot (x \geq L_{qH}) - q \cdot \frac{(x - L_{qK})^2}{2} \cdot (x \geq L_{qK})$$

$$M_{zRA}(R_A, x) := R_A \cdot (x - L_{RA}) \cdot (x \geq L_{RA})$$

$$M_{zRB}(R_B, x) := R_B \cdot (x - L_{RB}) \cdot (x \geq L_{RB})$$

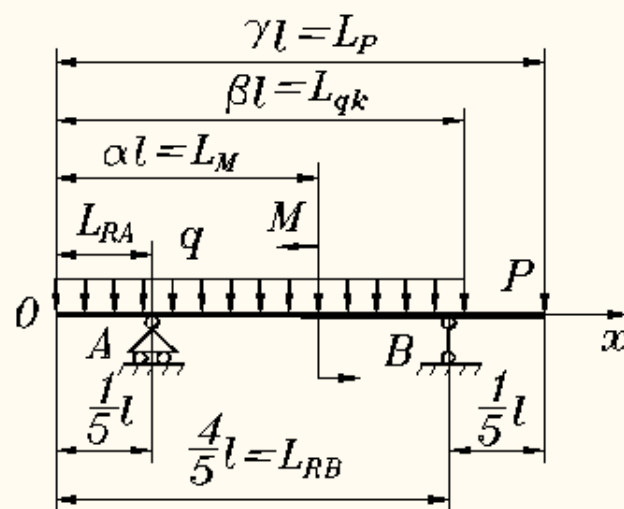
$$M_z(R_A, R_B, x) := M_{zRA}(R_A, x) + M_{zRB}(R_B, x) + M_{zM}(x) + M_{zP}(x) + M_{zq}(x)$$

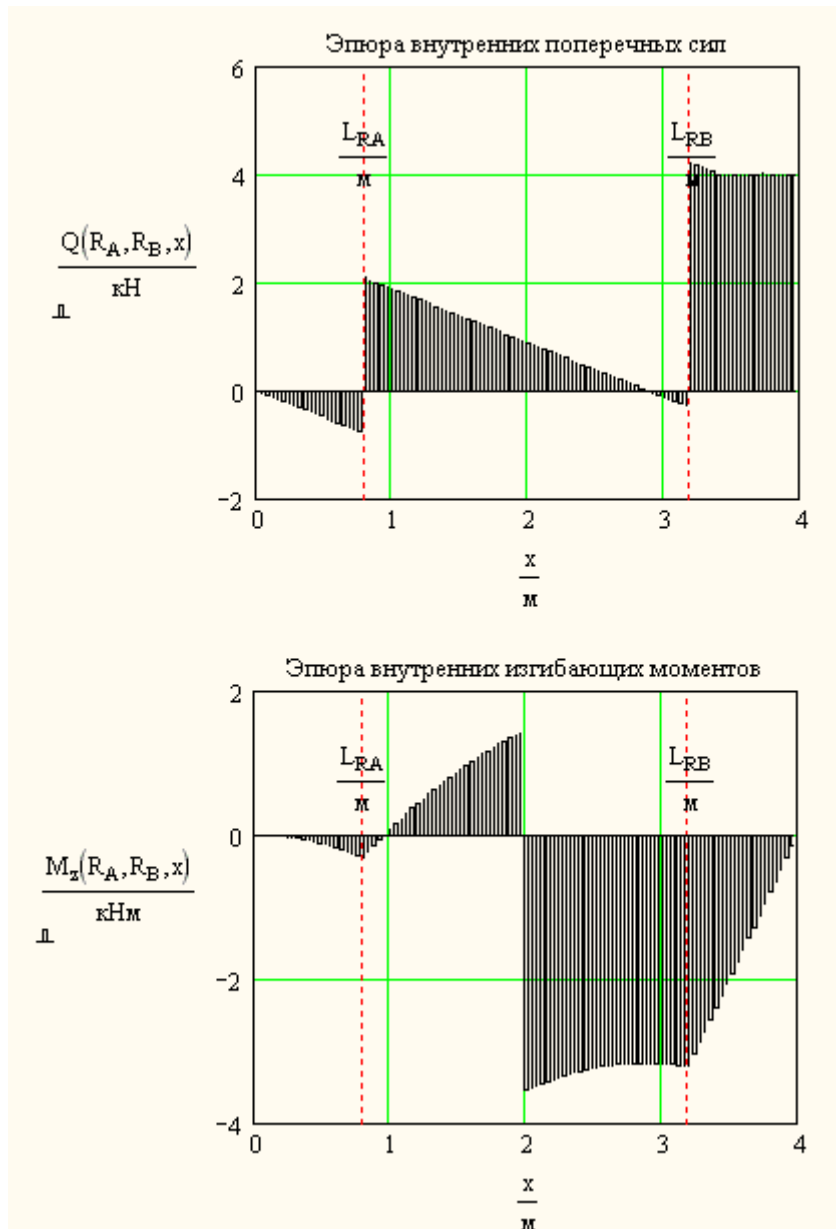
3. Определим реакции опор R_A и R_B из условий равновесия с использованием вычислительного блока given - find, которому предшествуют начальные приближения для обеих реакций

$$R_A := 10 \text{ кН} \quad R_B := 10 \text{ кН} \quad \text{начальные приближения}$$

$$\text{Given} \quad M_z(R_A, R_B, L) = 0 \quad Q(R_A, R_B, L) = 0$$

$$\begin{pmatrix} R_A \\ R_B \end{pmatrix} := \text{Find}(R_A, R_B) \quad R_A = 2.875 \text{ кН} \quad R_B = 4.525 \text{ кН}$$





Задача III-2

ORIGIN := 1

Вводим дополнительные единицы измерения $m := m$ $kH := 1000 \cdot N$ $kNm := 1000 \cdot N \cdot m$

Дано $l := 4$ $\alpha := 0.5$ $\beta := 0.85$ $\gamma := 0.7$

Сосредоточенная сила P и расстояние от точки ее приложения до начала координат L_P

$$P := -4 \cdot kH \quad L_P := (1 - \gamma) \cdot m$$

Сосредоточенный момент M и расстояние от точки его приложения до начала координат L_M

$$M := 5 \cdot kNm \quad L_M := (1 - \alpha) \cdot m$$

Равномерно распределенная нагрузка интенсивности q и расстояния от начала координат до начала и до конца действия распределенной нагрузки L_{qH} и L_{qK} соответственно

$$q := -1 \cdot \frac{kH}{m} \quad L_{qH} := (1 - \beta) \cdot m \quad L_{qK} := 1 \cdot m$$

Длина балки $L := 1\text{ м}$ $x := 0\text{ м}, \frac{L}{100} \dots L$

Построить эпюры изгибающих моментов и поперечных сил.

1. Записываем выражения для внутренних поперечных сил Q в общем виде с использованием булевых операторов (условий)

$$Q_F(x) := P \cdot (x \geq L_P)$$

$$Q_q(x) := q \cdot (x - L_{qH}) \cdot (x \geq L_{qH}) - q \cdot (x - L_{qK}) \cdot (x \geq L_{qK})$$

$$Q(x) := Q_F(x) + Q_q(x)$$

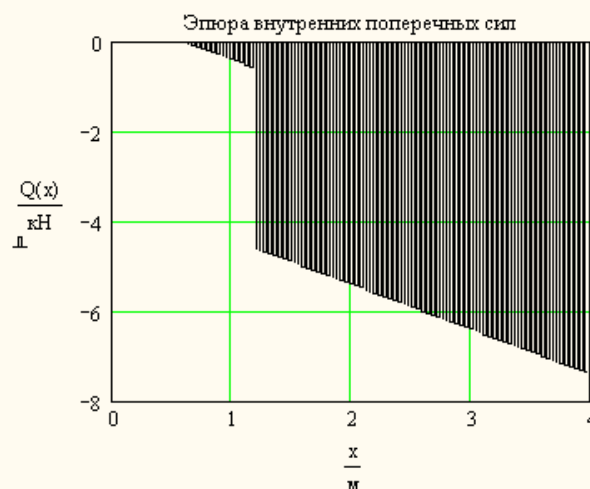
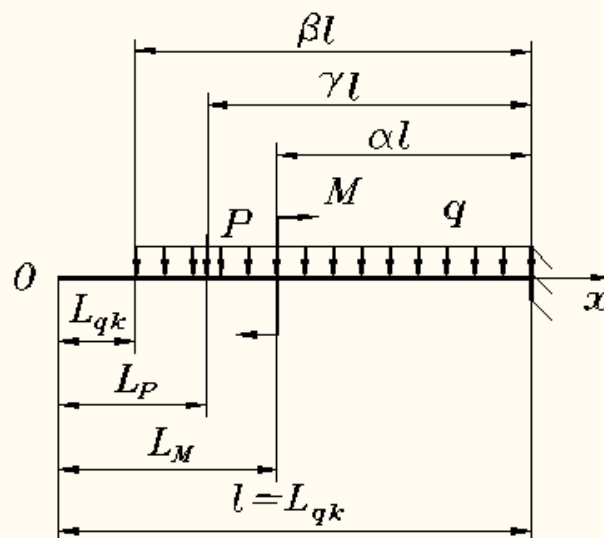
2. Записываем выражения для внутренних изгибающих моментов в общем виде с использованием булевых операторов (условий)

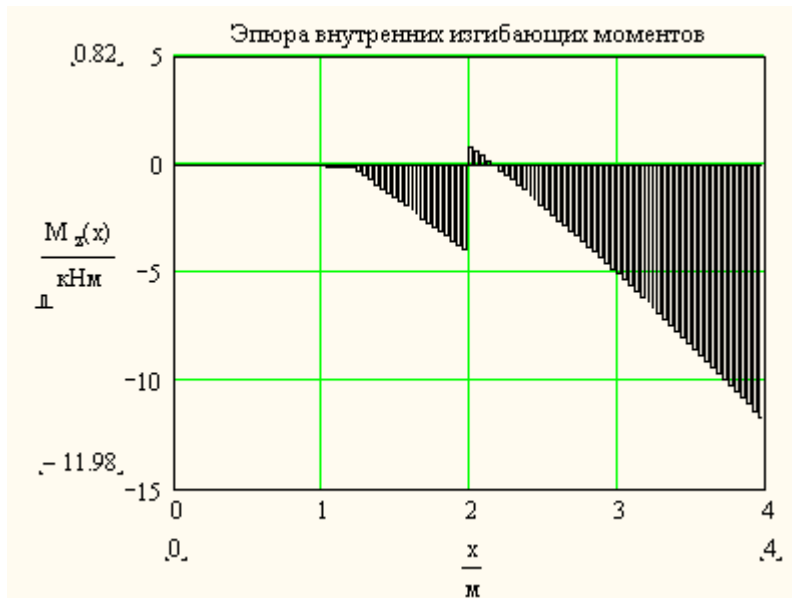
$$M_{zM}(x) := M \cdot (x \geq L_M)$$

$$M_{zP}(x) := P \cdot (x - L_P) \cdot (x \geq L_P)$$

$$M_{zq}(x) := q \cdot \frac{(x - L_{qH})^2}{2} \cdot (x \geq L_{qH}) - q \cdot \frac{(x - L_{qK})^2}{2} \cdot (x \geq L_{qK})$$

$$M_z(x) := M_{zM}(x) + M_{zP}(x) + M_{zq}(x)$$





ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТОГО СТЕРЖНЯ

$$\sigma d := 160 \cdot 10^6 \quad P := 250000 \quad L := 4.0 \quad \nu := 1$$

Первое приближение $\phi 1 := 0.5$

$$F := \frac{P}{(\phi 1 \cdot \sigma d)} \quad F = 3.125 \times 10^{-3} \quad \text{N24a} \quad F := 3.29 \cdot 10^{-3} \quad i_y := 0.0278$$

$$\lambda := \frac{L}{i_y} \quad \lambda = 143.885 \quad \phi 11 := 0.36 - \frac{(0.36 - 0.32)}{(150 - 140)} \cdot (\lambda - 140)$$

$$\phi 11 = 0.344$$

Второе приближение $\phi 2 := \frac{(\phi 1 + \phi 11)}{2}$

$$\phi 2 = 0.422 \quad F := \frac{P}{(\phi 2 \cdot \sigma d)} \quad F = 3.701 \times 10^{-3}$$

$$\text{N30} \quad i_y := 0.0284 \quad \lambda := \frac{L}{i_y} \quad \lambda = 140.845 \quad F := 4.05 \cdot 10^{-3}$$

$$\phi 21 := 0.36 - \frac{(0.36 - 0.32)}{(150 - 140)} \cdot (\lambda - 140) \quad \phi 21 = 0.357$$

Третье приближение $\phi 3 := \frac{(\phi 2 + \phi 21)}{2}$

$$\phi 3 = 0.389$$

$$F := \frac{P}{(\phi_3 \cdot \sigma d)} \quad F = 4.012 \times 10^{-3} \quad F := 4.05 \cdot 10^{-3} \quad N30 \quad \phi_3 := 0.357$$

$$\Delta := (\sigma - \sigma d) \cdot \frac{100}{\sigma d} \quad \Delta = 8.068 \quad \sigma := \frac{P}{(\phi_3 \cdot F)} \quad \sigma = 1.729 \times 10^8$$

Если принять N33

$$F := 4.65 \cdot 10^{-3} \quad i_y := 0.0297 \quad \lambda := \frac{L}{i_y} \quad \lambda = 134.68$$

$$\phi_{31} := 0.4 - \frac{(0.4 - 0.36)}{(140 - 130)} \cdot (\lambda - 130) \quad \phi_{31} = 0.381 \quad \sigma := \frac{P}{(\phi_{31} \cdot F)}$$

$$\Delta := (\sigma - \sigma d) \cdot \frac{100}{\sigma d} \quad \Delta = -11.87 \quad \sigma = 1.41 \times 10^8$$

Проверочный расчет на устойчивость сжатых стержней

$$b := 0.04 \quad L := 2.0 \quad h := 0.08 \quad N := 200000 \quad S_m := 160 \cdot 10^6$$

Коэффициент приведения длины $\nu := 0.7$

$$J_{\min} := \frac{h \cdot b^3}{12} \quad J_{\min} = 4.267 \times 10^{-7}$$

$$F_{br} := b \cdot h \quad I_{\min} := \sqrt{\frac{J_{\min}}{F_{br}}}$$

$$I_{\min} = 0.012$$

Гибкость

$$\lambda := \nu \cdot \frac{L}{I_{\min}} \quad \lambda = 121.244$$

Линейная интерполяция

(коэффициент продольного изгиба)

$$\phi := 0.45 - \frac{(0.45 - 0.40)}{10} \cdot 1.244$$

$$\phi = 0.444$$

$$\sigma_y := S_m \cdot \phi$$

$$\sigma_y = 7.1 \times 10^7$$

$$\sigma := \frac{N}{F_{br}}$$

$$\sigma = 6.25 \times 10^7$$

Устойчивость обеспечена, так как действующие напряжения меньше допускаемых при расчете на устойчивость

Заказ № _____ от « ____ » _____ 2008. Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ

