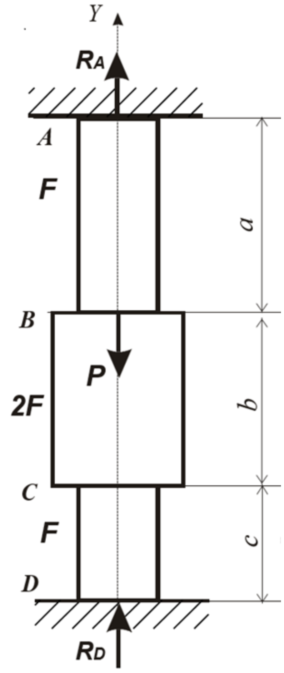
Методические указания к решению контрольных работ по сопротивлению материалов для студентов заочного факультета

Исходные данные выбираются по номеру зачетной книжки

шифр *** * * * * ***

а б в г д е

Задача №1



Стальной стержень (*E=2·10⁵ МПа*) находится под действием продольной силы *P*. Построить эпюры продольных сил *N*, напряженийσ, перемещений Δ. Проверить прочность стержня.

Исходные данные:

схема I;

F=12 см^2;

a=2,9 м; b=2,1 м; c=1,1 м;

*P=1900*10^2 Н=190 кН,*

E=2$\cdot 10^5$ *МПа,*

$[\sigma] = 160$ *МПа.*

Решение:

Составим уравнение равновесия: $\sum Y_i = 0$: $R_A + R_D - P = 0$

Степень статической неопределимости $s = m - n = 2 - 1$, где m – количество неизвестных, n – количество уравнений; система один раз статически неопределима.

Для защемленного обоими концами стержня полное абсолютное удлинение должно быть равным нулю. Уравнение совместности деформаций, так как стержень с обеих сторон жестко защемлен:

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 = 0$$

Определим продольные силы на каждом участке нагружения, пользуясь методом сечений.

I участок	$0 \le z \le c$	$N_1 = -R_D$
II участок	$c \le z \le c + b$	$N_2 = -R_D$
III участок	$c + b \le z \le c + b + a$	$N_3 = -R_D + P$

Тогда:

$$\Delta l_1 = \frac{-R_D l_1}{EF_1} = \frac{-R_D c}{EF}$$

$$\Delta l_2 = \frac{-R_D l_2}{EF_2} = \frac{-R_D b}{2EF}$$

$$\Delta l_3 = \frac{-R_D l_3}{EF_3} = \frac{(-R_D + P)a}{EF}$$

Так как стержень жестко закреплен с 2-х сторон, то:

$$\Delta l = \frac{-R_D c}{EF} + \frac{-R_D b}{2EF} + \frac{(-R_D + P)a}{EF} = 0$$

Решив это уравнение относительно R_D, найдем его значение:

$$R_D = \frac{2aP}{2a + b + 2c} = 108\text{кН}$$

Далее найдем продольные силы на участках нагружения статически неопределимого бруса:

$$N_1 = -R_D = -109{,}11 \text{ кН}$$
$$N_2 = -R_D = -109{,}11 \text{ кН}$$

$$N_3 = -R_D + P = 80{,}89 \text{ кН}$$

Теперь можно найти напряжения в поперечных сечениях статически неопределимого бруса:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{F_1} = \frac{-R_D}{F} = -90{,}92 \text{ МПа}$$
$$\sigma_2 = \frac{N_2}{F_2} = \frac{-R_D}{2F} = -45{,}46 \text{ МПа}$$
$$\sigma_3 = \frac{N_3}{F_3} = \frac{-R_D + P}{F} = 67{,}41 \text{ МПа}$$

Далее проведем проверку на прочность статически определимого стержня:

$\sigma_{max} \le [\sigma]$, где $[\sigma]$ – максимально допускаемое напряжение.

$$\sigma_{max} = \sigma_1 \le [\sigma]$$

90,92 МПа < 160 МПа

Найдем абсолютные удлинения участков заданного стержня, для этого воспользуемся законом Гука:

$$\Delta l_1 = \frac{-\sigma_1 l_1}{E} = \frac{-N_1 l_1}{F_1 E} = \frac{-R_D l_1}{EF_1} = \frac{-R_D c}{EF} = -0{,}500 * 10^{-3} м$$
$$\Delta l_2 = \frac{-\sigma_2 l_2}{E} = \frac{-N_2 l_2}{F_2 E} = \frac{-R_D l_2}{EF_2} = \frac{-R_D b}{2EF} = -0{,}477 * 10^{-3} м$$
$$\Delta l_3 = \frac{-\sigma_3 l_3}{E} = \frac{-N_3 l_3}{F_3 E} = \frac{-R_D l_3}{EF_3} = \frac{(-R_D + P)a}{EF} = 0{,}674 * 10^{-3} м$$

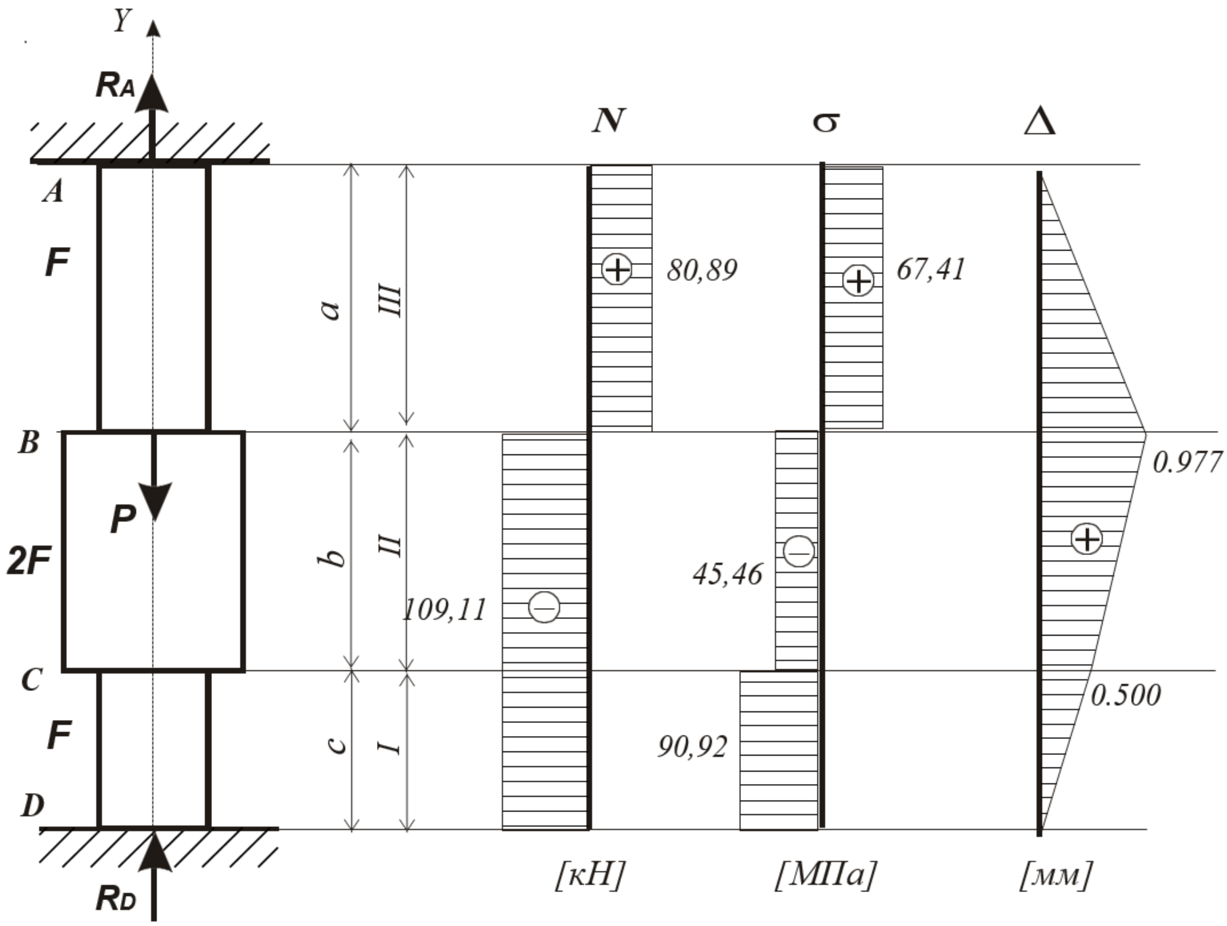
Теперь мы можем определить перемещения поперечных сечений, совпадающих с границами участков нагружения:

Сечение A (жесткая заделка): $\Delta_A = 0$

Сечение B: $\Delta_B = \Delta_A + \Delta l_3 = 0 + \frac{(-R_D + P)a}{EF} = 0{,}977\text{мм}$

Сечение C: $\Delta_C = \Delta_B + \Delta l_2 = \frac{(-R_D + P)a}{EF} + \frac{-R_D b}{2EF} = 0{,}500\text{мм}$

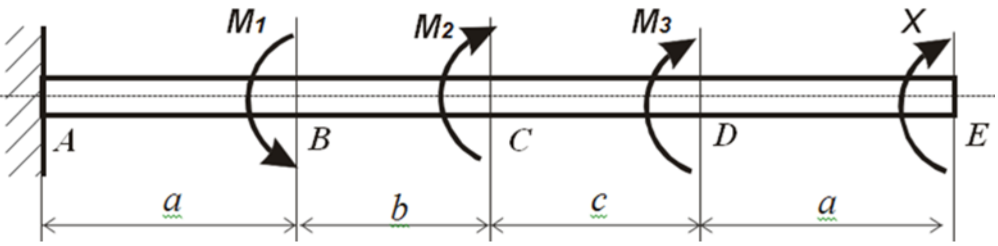
Сечение D (жесткая заделка): $\Delta_D = \Delta_C + \Delta l_3 = \frac{(-R_D + P)a}{EF} + \frac{-R_D b}{2EF} + \frac{-R_D c}{EF} = 0$


Y
R_A
A
F
B
P
2F
C
F
D
R_D
a
b
c
III
II
I
N
σ
Δ
80,89
109,11
67,41
45,46
90,92
0.977
0.500
[кН]
[МПа]
[мм]

Задача №5

К стальному валу приложены три известных момента: M_1, M_2, M_3. Требуется:

1. установить при каком значении момента X угол поворота правого концевого сечения вала равен нулю;
2. для найденного значения X построить эпюру крутящих моментов;
3. при заданном значении $[\tau]=35$ *МПа* определить диаметр вала из расчета на прочность и округлить его значение до ближайшего, равного: *30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 100 мм*;
4. построить эпюру углов закручивания;
5. найти наибольший относительный угол закручивания.



Исходные данные:

a=1,9 м; b=1,2 м; c=1,4 м;

$M_1=1900$ *Нм;* $M_2=1200$ *Нм;* $M_3=1400$ *Нм;*

$[\tau]=35$ *МПа,*

G=80000 МПа.

Решение

Определим крутящие моменты на каждом участке нагружения, пользуясь методом сечений.

I участок:	$0 \le z \le a$	$m_1 = -X$
II участок:	$a \le z \le a + c$	$m_2 = -X - M_3$
III участок:	$a + c \le z \le a + c + b$	$m_3 = -X - M_3 - M_2$
IV участок:	$a + c + b \le z \le 2a + c + b$	$m_1 = -X - M_3 - M_2 + M_1$

Так как полный угол закручивания должен быть равным нулю:
$\varphi_{\text{полн.}} = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 + \Delta\varphi_3 + \Delta\varphi_4 = 0$, где:

$$\Delta\varphi_1 = \frac{m_1 l_1}{GJ_p} = \frac{(-X)a}{GJ_p}$$

$$\Delta\varphi_2 = \frac{m_2 l_2}{GJ_p} = \frac{(-X - M_3)c}{GJ_p}$$

$$\Delta\varphi_3 = \frac{m_3 l_3}{GJ_p} = \frac{(-X - M_3 - M_2)b}{GJ_p}$$

$$\Delta\varphi_4 = \frac{m_4 l_4}{GJ_p} = \frac{(-X - M_3 - M_2 + M_1)a}{GJ_p}$$

Исходя из этого условия, можно выразить X:

$$(-X)a + (-X - M_3)c + (-X - M_3 - M_2)b + (-X - M_3 - M_2 + M_1)a = 0$$

$$X = \frac{M_1 a - M_2(a+b) - M_3(a+b+c)}{2a + b + c}$$

Получаем $X = -1001{,}56$ Нм.

Далее находим крутящие моменты на участках нагружения:

I участок: $m_1 = -X = 1001{,}56\ Нм$

II участок: $m_2 = -X - M_3 = -398{,}44\ Нм$

III участок: $m_3 = -X - M_3 - M_2 = -1598{,}44\ Нм$

IV участок: $m_1 = -X - M_3 - M_2 + M_1 = 301{,}56\ Нм$

Распишем касательные напряжения, возникающие в поперечных сечениях бруса:

$$\tau_1 = \frac{m_1}{W_\rho} = \frac{-X}{W_\rho}$$

$$\tau_2 = \frac{m_2}{W_\rho} = \frac{-X - M_3}{W_\rho}$$

$$\tau_3 = \frac{m_3}{W_\rho} = \frac{-X - M_3 - M_2}{W_\rho}$$

$$\tau_4 = \frac{m_4}{W_\rho} = \frac{-X - M_3 - M_2 + M_1}{W_\rho}$$

Для расчета касательных напряжений необходимо вычислить полярный момент сопротивления поперечных сечений участков заданного стержня, учитывая, что сечения имеют круглую форму:

$$W_\rho = \frac{\pi d^3}{16} = 0{,}1963 d^3$$

Так как диаметр поперечного сечения не задан, нужно его найти. Найти его можно, воспользовавшись условием прочности $\tau_{max} \leq [\tau]$.

Так как максимальный крутящий момент возникает на третьем участке, он является опасным, это участок, на котором возникают максимальные касательные напряжения. Составим условие прочности для опасного участка вала:

$\tau_{max} \leq [\tau]$, где $[\tau]$ – максимально допускаемое касательное напряжение.

$$\tau_{max} = \tau_4 \le [\tau] = 35\,МПа$$

$$\frac{-X - M_3 - M_2 + M_1}{W_\rho} \le [\tau]$$

Определим диаметр d из условия прочности:

$$d \ge \sqrt[3]{\frac{m_3}{0{,}1963[\tau]}} \ge 0{,}0615 \text{ м} \ge 61{,}5 \text{ мм}$$

Предположим, что диаметр заданного стержня $d = 0{,}07 \text{ м} = 70 \text{ мм}$, теперь можно вычислить геометрические характеристики поперечных сечений вала:

Полярный момент сопротивления сечения:

$$W_\rho = \frac{\pi d^3}{16} = 0{,}1963(0{,}07)^3 = 67{,}33 * 10^{-6}\text{м}^3$$

Полярный момент инерции сечения:

$$J_p = \frac{\pi d^4}{32} = 0{,}0982 d^4 = 235{,}7 * 10^{-8}\text{м}^4$$

Определим абсолютные углы закручивания участков вала:

$$\Delta\varphi_1 = \frac{m_1 a}{G J_p} = 0{,}0101\,рад$$

$$\Delta\varphi_2 = \frac{m_2 c}{G J_p} = -0{,}0030\,рад$$

$$\Delta\varphi_3 = \frac{m_3 b}{G J_p} = -0{,}0101\ \ рад$$

$$\Delta\varphi_4 = \frac{m_4 c}{G J_p} = 0{,}0030\,рад$$

Далее произведем проверку: $\varphi_{\text{полн.}} = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 + \Delta\varphi_3 + \Delta\varphi_4 = 0$

$$\varphi_{\text{полн.}} = 0{,}0101 - 0{,}0030 - 0{,}0101 + 0{,}0030 = 0$$

Теперь можно определить угловые смещения поперечных сечений, находящихся на границах участков нагружения:

Сечение *A* (жесткая заделка): $\Delta\varphi_A = 0\,рад$

Сечение *B*: $\Delta\varphi_B = \Delta\varphi_A + \Delta\varphi_4 = \Delta\varphi_A + \frac{m_4 c}{G J_p} = 0{,}0030\,рад$

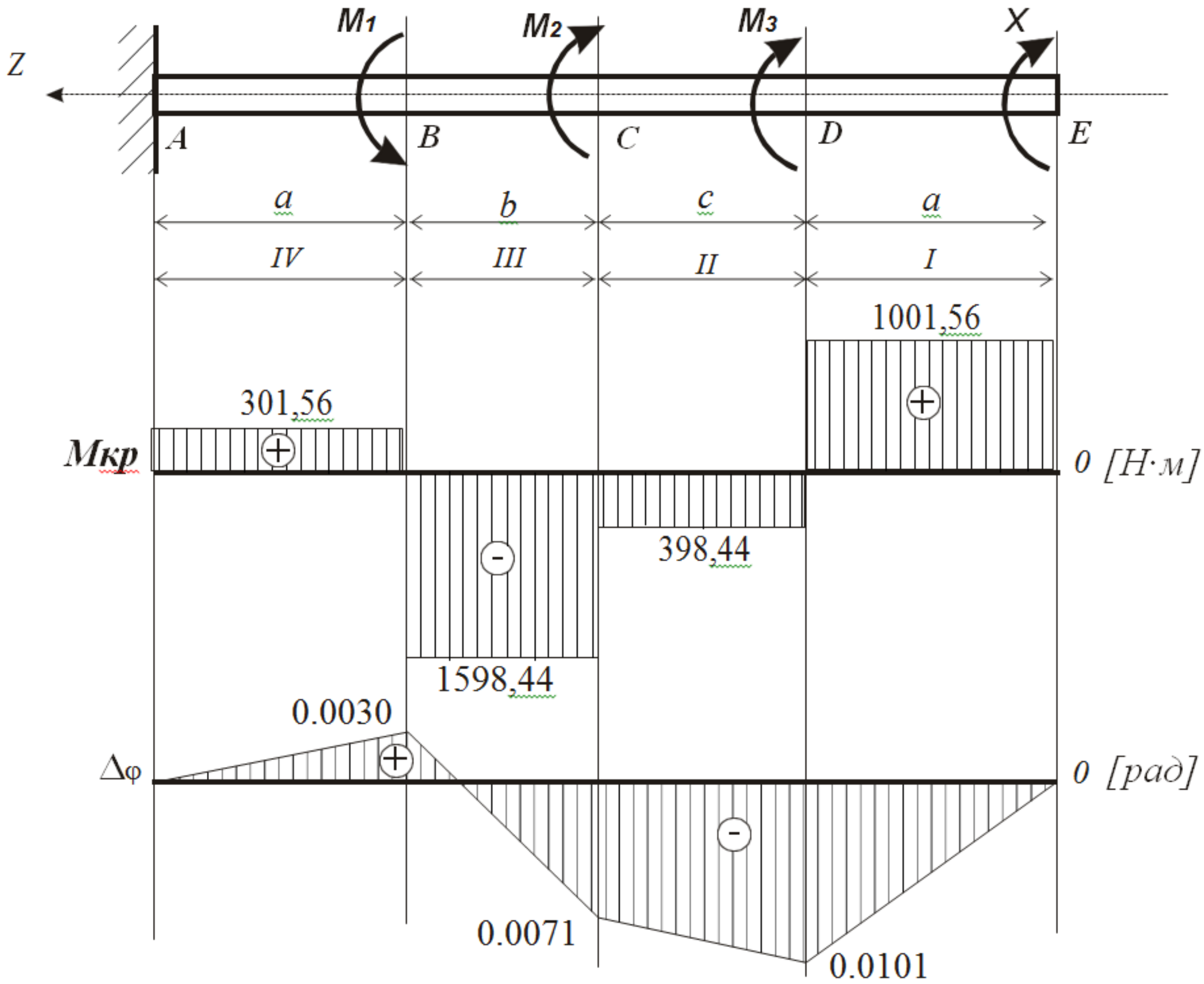
Сечение *C*: $\Delta\varphi_C = \Delta\varphi_B + \Delta\varphi_3 = \Delta\varphi_B + \frac{m_3 b}{G J_p} = -0{,}0071\,рад$

Сечение *D*: $\Delta\varphi_D = \Delta\varphi_C + \Delta\varphi_2 = \Delta\varphi_C + \frac{m_2 c}{G J_p} = -0{,}0101\,рад$

Сечение *E*: $\Delta\varphi_E = \Delta\varphi_D + \Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_D + \frac{m_1 a}{G J_p} = 0\,рад$

Далее можно найти максимальный угол закручивания:

$\varphi_{max} = \frac{m_{max}}{GJ_P} = 0{,}0085$ *рад/м.*



Задача №7

Для заданного поперечного сечения, состоящего из швеллера и равнобокого уголка или из двутавра и равнобокого уголка, или из швеллера и двутавра, требуется:

1. определить положение центра тяжести;
2. найти осевые и центробежные моменты инерции относительно центральных осей xc и yc;
3. определить направление главных центральных осей u и v;
4. найти главные моменты инерции;
5. вычертить сечение в масштабе 1:2.

Исходные данные:

швеллер *№20*; равнобокий уголок 90x90x6; двутавр *№20а*.

Равнобокий уголок *90×90×6 (ГОСТ 8509-86)*
b=90 мм - ширина полки, *t =6 мм* - толщина полки, $F=10,61$ *см*^{2} – площадь сече- ния, $z_0=2,43$ *см* - положение центра тяжести, $J_x=J_y=82,10$ *см*^{4} - осевые моменты инерции относительно центральных осей, $J_{xy}=48,10$ *см*^{4} - центробежный момент инерции.

Двутавр *№20а (ГОСТ 8239-89)*
h=200 мм - высота, *b=110 мм* - ширина полки, *s=5,2 мм* - толщина стенки, *t=8,6 мм* - толщина полки, $F=28,9$ *см*^{2} – площадь сечения, $J_x=2030$ *см*^{4}, $J_y=155$ *см*^{4} - осевые моменты инерции относительно центральных осей двутавра.

Вычерчиваем заданное сечение в масштабе *1:2*. Выбираем исходные оси *X0Y* та- ким образом, чтобы они были параллельны сторонам составного сечения и прохо- дили через центры тяжести двутавра C_1 и уголка C_2.
Для каждого элемента сечения проведем собственные центральные оси.

Координаты центров тяжести элементов сечения в выбранных осях, их площади и моменты инерции приведены в таблице.

№	Площадь F_i	Координаты ц.т.		Моменты инерции		
	см^2	x_i	y_i	J_{xi}	J_{yi}	J_{xiyi}
		см	*см*	*см*^{4}	*см*^{4}	*см*^{4}
1(двутавр)	*28,9*	*3,07*	*0,0*	*2030,0*	*155,0*	*0,0*
2(уголок)	*10,61*	*0,0*	*12,43*	*82,10*	*82,10*	*48,10*
Составное сечение	*39,51*	*2,25*	*3,34*	*3311,18*	*310,24*	*-248,05*

Координаты центров тяжести частей сечения в выбранной системе осей *X0Y* (все размеры взяты в *см*, индекс *1* соответствует двутавру, индекс *2* - уголку):

$$x_1 = 0,5b_1 - z_{02} = 3,07 \text{ см}$$
$$y_1 = 0$$
$$x_2 = 0$$
$$y_2 = 0,5h_1 + z_{02} = 12,43 \text{ см}$$

Площадь составного сечения можно найти, как:

$$F = F_1 + F_2$$

Статистические моменты для каждого сечения определяются по формулам:

$$S_{xi} = y_i F_i \quad \text{и} \quad S_{yi} = x_i F_i.$$

Определим координаты центра тяжести составного сечения:

$$x_C = \frac{S_{y1} + S_{y2}}{F} = \frac{x_1 F_1 + x_2 F_2}{F_1 + F_2} = 2{,}25 \text{ см}$$

$$y_C = \frac{S_{x1} + S_{x2}}{F} = \frac{y_1 F_1 + y_2 F_2}{F_1 + F_2} = 3{,}34 \text{ см}$$

Расстояние между соответствующими центральными осями сечений отдельных элементов и центральными осями всего составного сечения можно рассчитать по формулам: $a_i = y_i - y_c$ и $b_i = x_i - x_c$.

Форма сечения (индекс)	a_i, *см*	b_i, *см*
Двутавр (1)	-3,34	0,82
Уголок (2)	9,09	-2,25

Проверка: $\frac{|a_1|}{|a_2|} = \frac{|b_1|}{|b_2|} = \frac{|F_2|}{|F_1|} = 0{,}367$

Осевые и центробежные моменты относительно центральных осей X_c и Y_c можно вычислить по следующим формулам:

$$J_{Xc} = J_{Xc_1} + J_{Xc_2} = J_{X1_1} + a_1^2 F_1 + J_{X2_2} + a_2^2 F_2 = 3311{,}18 \text{ см}^4$$

$$J_{Yc} = J_{Yc_1} + J_{Yc_2} = J_{Y1_1} + b_1^2 F_1 + J_{Y2_2} + b_2^2 F_2 = 310{,}24 \text{ см}^4$$

$$J_{X_cYc} = J_{X_cYc_1} + J_{X_cYc_2} = J_{X_1Y_{1_1}} + a_1 b_1 F_1 + J_{X_2Y_{2_2}} + a_2 b_2 F_2 = -248{,}05 \text{ см}^4$$

Положение главных центральных осей инерции *U* и *V* определяется углом α, который они составляют с центральными осями X_C и Y_C (положительное значение угла откладывается против хода часовой стрелки).

$$\alpha = \frac{1}{2} arctg \frac{2J_{X_cYc}}{J_{Y_c} - J_{X_c}} = 0{,}082 \, рад = 4{,}69$$

По результатам расчетов нанесем на чертеж: центр тяжести всего сечения; центральные оси; главные центральные оси.

Рассчитаем главные центральные моменты инерции сечения:

$$J_U = J_{X_c} \cos^2 \alpha + J_{Yc} \sin^2 \alpha - J_{X_cYc} \sin 2\alpha = 3331{,}54 \text{ см}^4$$

$$J_V = J_{X_c} \sin^2 \alpha + J_{Yc} \cos^2 \alpha + J_{X_cYc} \sin 2\alpha = 289{,}88 \text{ см}^4$$

Также главные центральные моменты инерции сечения можно вычислить по формулам:

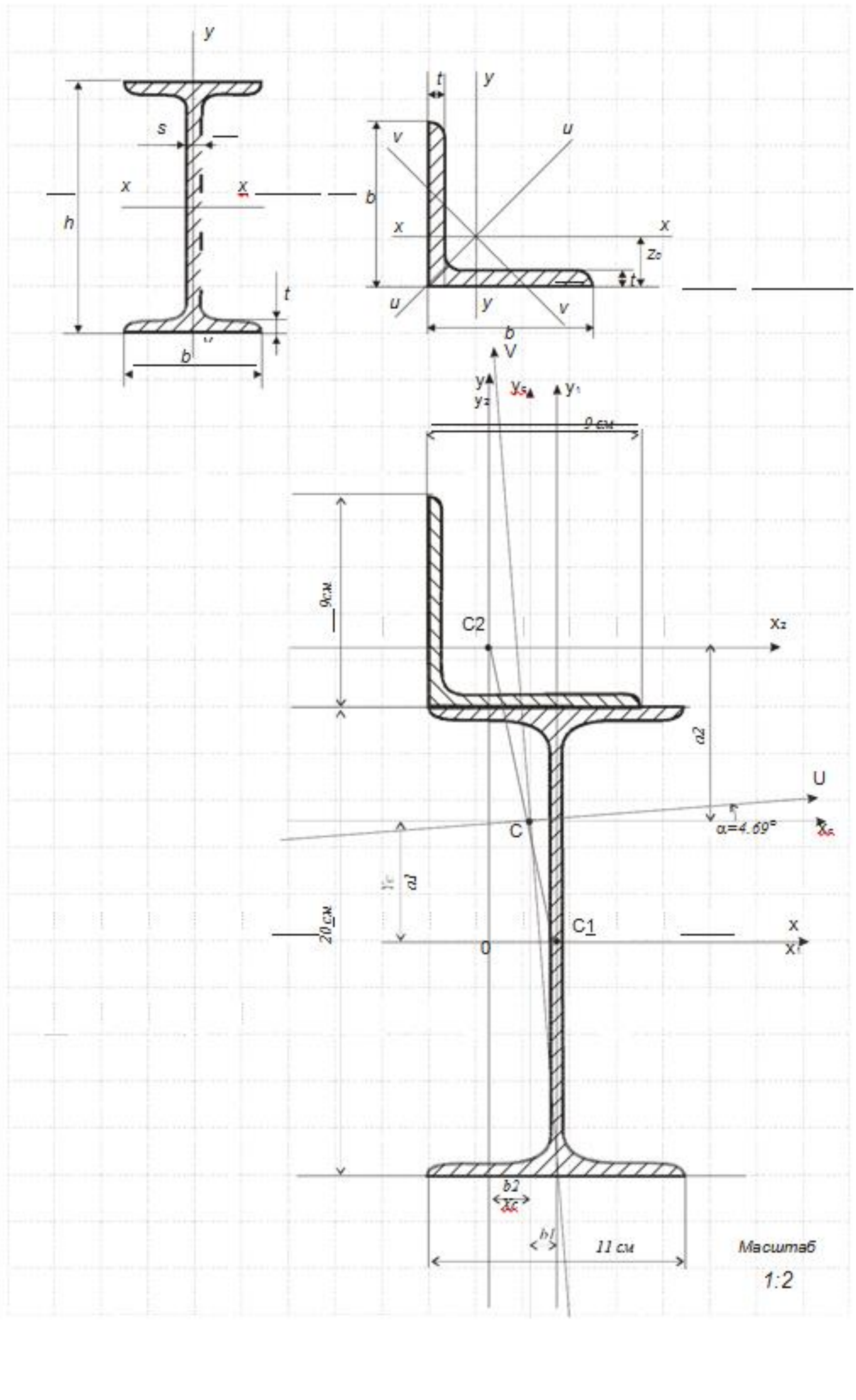
$$J_{max} = \frac{J_{X_C} + J_{Y_C}}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{\left(J_{X_C} - J_{Y_C}\right)^2 + 4J_{X_CY_C}^2} = 3331{,}54 \text{ см}^4$$

$$J_{min} = \frac{J_{X_C} + J_{Y_C}}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{\left(J_{X_C} - J_{Y_C}\right)^2 + 4J_{X_C Y_C}^2} = 289{,}88 \text{ см}^4$$

Далее проведем аналитическую проверку:

$$J_{X_C} + J_{Y_C} = J_U + J_V = 3621{,}42 \text{ см}^4$$

$$J_{UV} = J_{X_C Y_C} \cos 2\alpha - \frac{J_{X_C} - J_{Y_C}}{2} \sin 2\alpha = 0$$



Задача №8

Для заданных двух схем балок требуется написать выражения для каждого участка и построить эпюры Q и M; подобрать

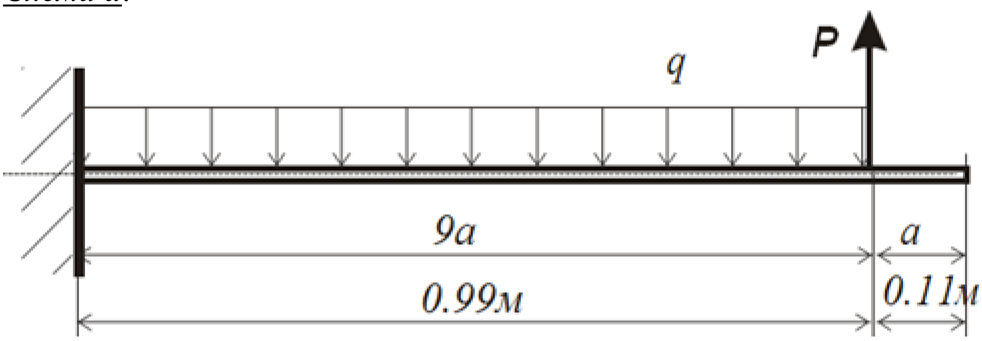
1. для схемы *(а)* деревянную балку круглого поперечного сечения при $[\sigma]$=8 *МПа*;
2. для схемы (б) стальную балку двутаврового поперечного сечения при [σ]=180 МПа.

Исходные данные:

l_1=1,1 м; l_2=6 м;
для схемы а: а=0,11м, для схемы б: а=0,11м,
a_1=9а; a_2=9а; a_3=1а;
М=9 кНм;
Р=10 кН;
q=6 кН/м.

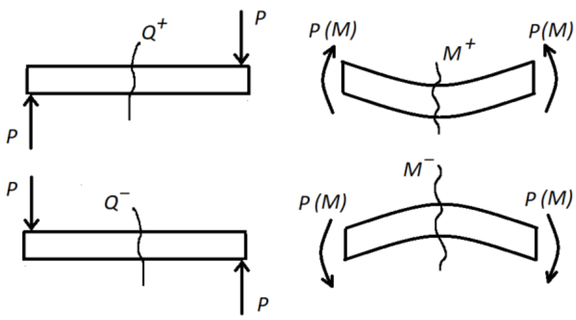
Решение

Схема а:



Для консольной балки определим поперечные силы Q_i и изгибающие моменты M_i на каждом участке нагружения, рассматривая участки балки, начиная от свободного конца к заделке.

Для определения знаков поперечных сил Q_i и изгибающих моментов M_i воспользуемся правилом знаков.



I участок: $0 \le z \le a = 0{,}11\ м$
$Q_1 = 0,$
$M_1 = 0;$

II участок: $0{,}11м \le z \le 10a = 1{,}1\ м$
$Q_2 = q(z-a) - P,$
$M_2 = -\frac{q(z-a)^2}{2} + P(z-a);$

Найдем значения Q_2 и M_2 на границах II участка:

$$Q_{2(z=a)} = -10 \text{ кН} \qquad Q_{2(z=10a)} = -4{,}06 \text{ кН}$$
$$M_{2(z=a)} = 0 \text{ кНм} \qquad M_{2(z=10a)} = 6{,}96 \text{ кНм}$$

Далее из условия прочности определим полярный момент сопротивления сечения:

$\sigma_{max} \leq [\sigma]$ – условие прочности, где $[\sigma]$ - максимально допускаемое напряжение
$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{W_x} \leq [\sigma] = 8\ \text{МПа}$
$W_x \geq \frac{|M_{max}|}{[\sigma]} \geq 869{,}96 \text{ см}^3$.

Теперь, зная полярный момент сопротивления сечения, можно подобрать размер сечения. Для круглого сечения полярный момент сопротивления сечения вычисляется по следующей формуле: $W_x = \frac{\pi d^3}{32}$, следовательно, можно выразить диаметр:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32\, W_x}{\pi}} = 0{,}207 \text{ м} = 20{,}7 \text{ см}^3 \text{ , откуда} \quad F = \frac{\pi\, d^2}{4} = 336{,}54 \text{ см}^2$$

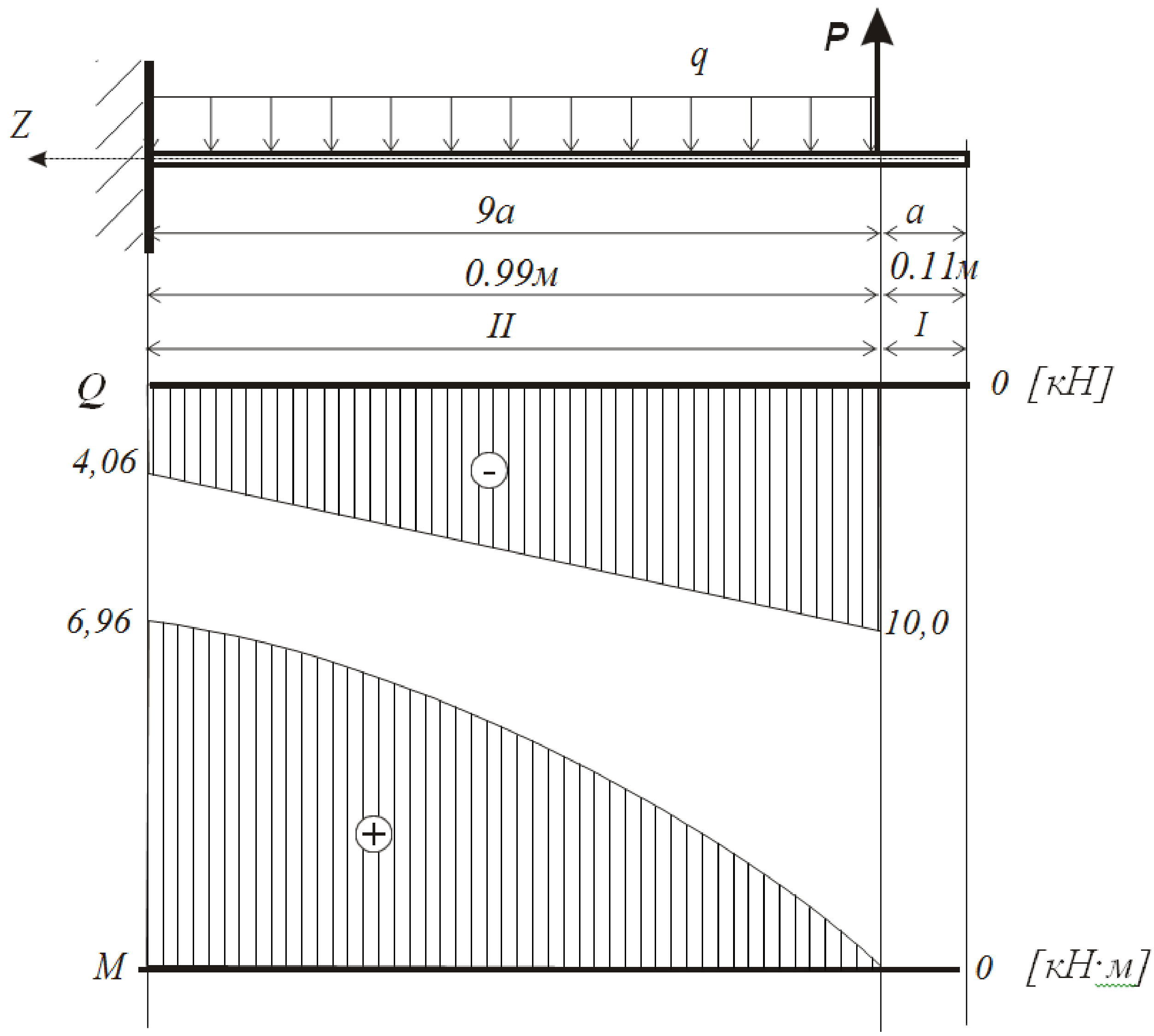
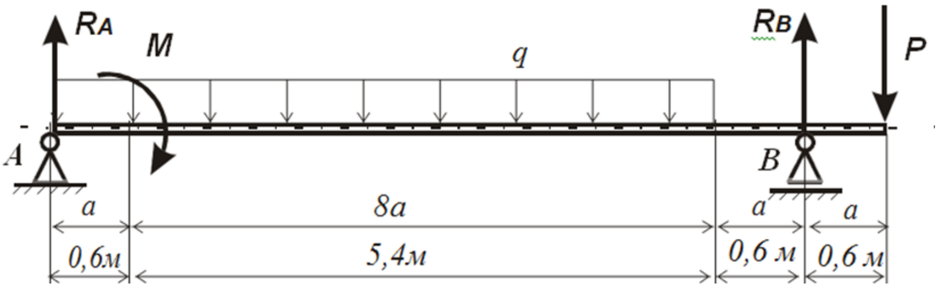
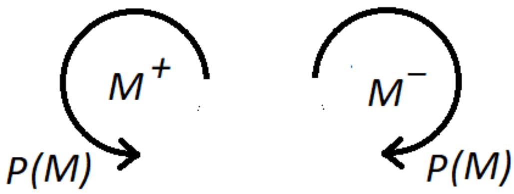


Схема б



Определим вертикальные реакции в шарнирных опорах R_A, R_B. Запишем уравнения равновесия для моментов относительно точек A и B, воспользовавшись правилом знаков из теоретической механики для моментов.



Относительно точки B ищем реакцию R_A:

$$\sum M_i^B = 0$$

$$-R_A \cdot 10a - P \cdot a + q \cdot 9a \cdot 5{,}5a - M = 0$$

$$R_A = \frac{-P \cdot a + q \cdot 9a \cdot 5{,}5a - M}{10a} = 15{,}32 \text{ кН}$$

Относительно точки A ищем реакцию R_B:

$$\sum M_i^A = 0$$

$$-R_B \cdot 10a + P \cdot 11a + q \cdot 9a \cdot 4{,}5a + M = 0$$

$$R_B = \frac{P \cdot 11a + q \cdot 9a \cdot 4{,}5a + M}{10a} = 27{,}08 \text{ кН}$$

Проведем проверку, для этого составим условие равновесия для сил

$$\sum Y_i = 0, \; R_A + R_B - q \cdot 9a - P = 15{,}32 + 27{,}08 - 6 \cdot 9 \cdot 0{,}6 - 10 = 0$$

- *проверка сошлась*

Далее определим поперечные силы Q_i и изгибающие моменты M_i на каждом участке нагружения, воспользовавшись методом сечений.

I участок: $0 \leq z \leq a = 0{,}6$ *м* (справа)

$Q_1 = P,$
$M_1 = -Pz;$
Найдем значения Q_1 и M_1 на границах I участка:

$$Q_{1(z=0)} = 10 \text{ кН} \qquad Q_{1(z=a)} = 10 \text{ кН}$$
$$M_{2(z=0)} = 0 \text{ кНм} \qquad M_{1(z=a)} = -6{,}0 \text{ кНм}$$

II участок: $a \le z \le 2a = 1{,}2$ *м*
$Q_2 = P - R_B,$
$M_2 = -Pz + R_B(z-a);$
Найдем значения Q_2 и M_2 на границах II участка:

$$Q_{2(z=a)} = -17{,}08 \text{ кН} \qquad Q_{2(z=2a)} = -17{,}08 \text{ кН}$$
$$M_{2(z=a)} = -6{,}0 \text{ кНм} \qquad M_{2(z=2a)} = 4{,}25 \text{ кНм}$$

Далее будем рассматривать участки слева:
VI участок: $0 \le z \le a = 0{,}6$ *м*
$Q_4 = R_A - qz,$
$M_4 = R_A z - \frac{qz^2}{2};$
Найдем значения Q_4 и M_4 на границах VI участка:

$$Q_{4(z=0)} = 15{,}32 \text{ кН} \qquad Q_{4(z=a)} = 11{,}72 \text{ кН}$$
$$M_{4(z=0)} = 0 \text{ кНм} \qquad M_{4(z=a)} = 8{,}11 \text{ кНм}$$

III участок: $a \le z \le 8a = 4{,}8$ *м*
$Q_3 = R_A - qz,$
$M_3 = M + R_A z - \frac{qz^2}{2};$
Найдем значения Q_3 и M_3 на границах III участка:

$$Q_{3(z=a)} = 11{,}72 \text{ кН} \qquad Q_{3(z=2a)} = -17{,}08 \text{ кН}$$
$$M_{3(z=a)} = 17{,}11 \text{ кНм} \qquad M_{3(z=2a)} = 4{,}25 \text{ кНм}$$

Максимальное значение момента приходится на сечение, в котором поперечная сила обращается в ноль. Определим координату этого сечения:

$Q_3 = R_A - qz^* = 0$, отсюда получаем: $z^* = \frac{R_A}{q} = 4{,}25a = 2{,}55$ *м,*

Теперь можно найти значение момента в этой координате $M_{3(z=4{,}25a)} = 28{,}56$ *кНм,* отсюда следует, что в опасном сечении момент положительный, верхние волокна сжаты, а нижние – растянуты.

Далее нам нужно подобрать площадь двутаврового сечения, для этого воспользуемся условием прочности :

$\sigma_{max} \le [\sigma]$ – условие прочности, где $[\sigma]$ - максимально допускаемое напряжение

$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{W_x} \le [\sigma] = 180\ МПа$

$W_x \ge \frac{|M_{max}|}{[\sigma]} \ge 158{,}66\ см^3$.

Для двутавра №18а: W_x=*159 см*^{3}, *F=25,4 см*^{2}, J_x=*1430 см*^{4}, S_x=*89,8 см*^{3}, *h=180 мм, b=100мм, s=5,1 мм, t=8,3 мм.*

$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{W_x} \le [\sigma] = 179{,}61\ МПа$

Балка недогружена на: $\delta = \left|\frac{[\sigma]-\sigma_{max}}{\sigma}\right| \cdot 100\% = 0{,}21\%.$