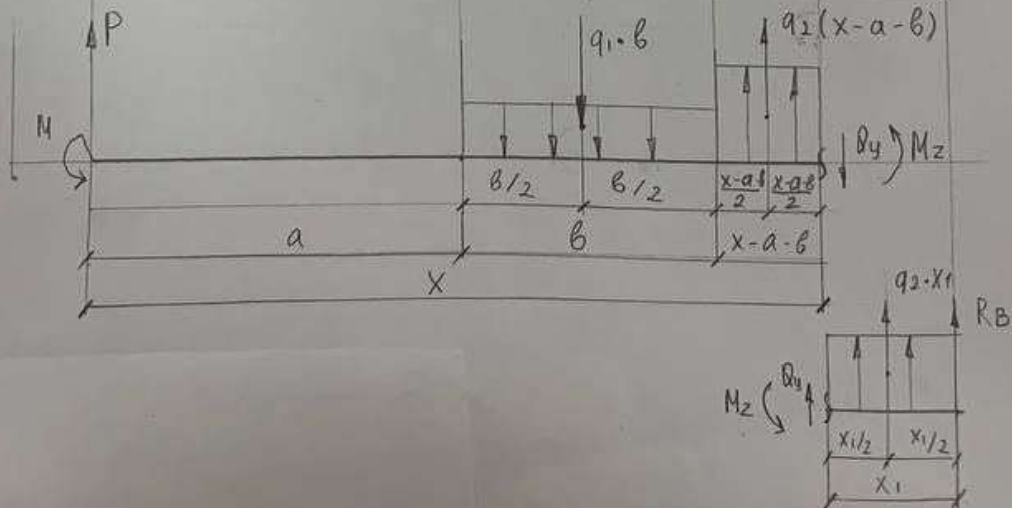
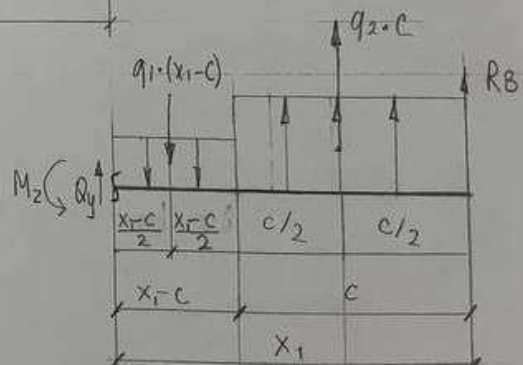
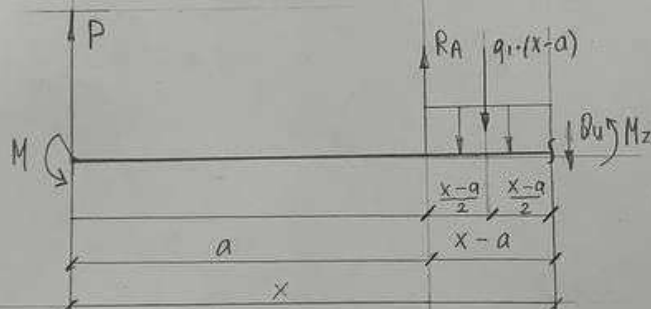
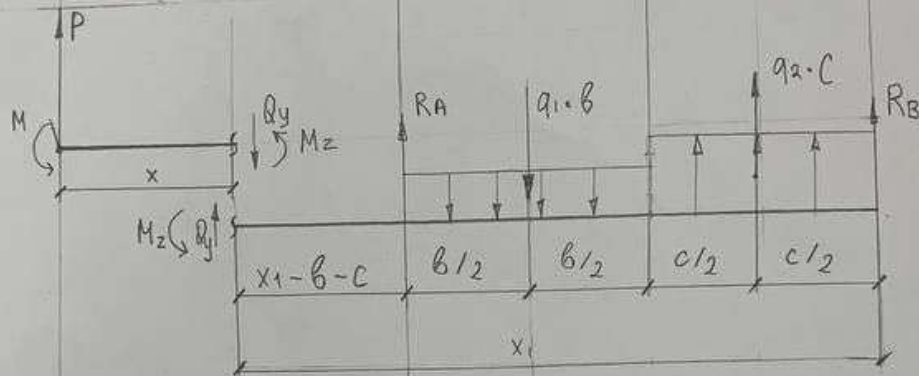
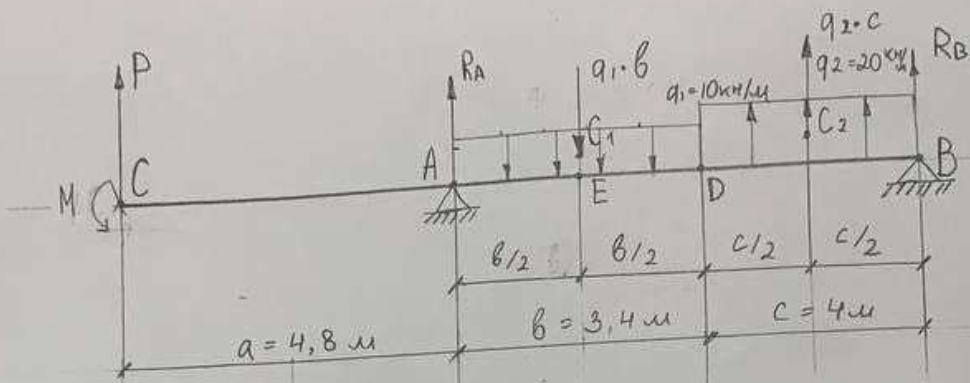
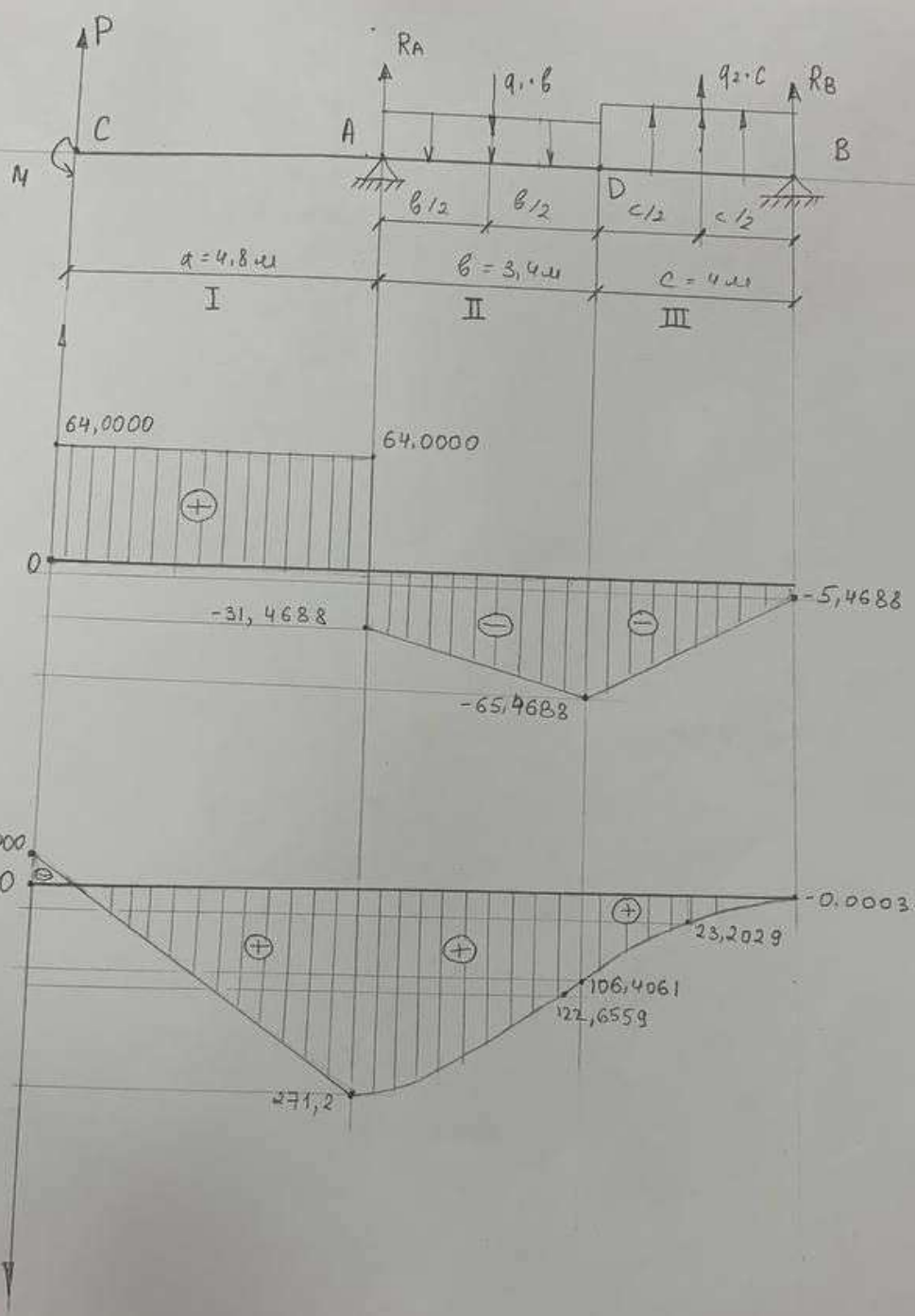


№ схемы		а, м	б, м	с, м	Р1, Кн	М2, Кн*м	q1,КН/м		q2,КН/м		Р,мПа
12		4,0	3,8	4,6	33	67	Вверх	7	Вниз	23	395
13		4,4	3,4	3,2	61	39	Вверх	10	Вниз	20	210
14		4,8	4,2	4,2	38	62	Вниз	11	Вверх	19	310
15		4,6	5	4,6	50	50	Вверх	12	Вниз	18	235
16		4,4	3,6	3,2	60	40	Вниз	12	Вверх	18	390
17		3,4	3,2	4,2	37	63	Вниз	10	Вверх	20	315
18		4,8	3,0	5,0	42	58	Вверх	8	Вниз	22	380
19		5,0	3,2	3,8	38	62	Вниз	14	Вверх	16	340
20		4,6	3,2	3,0	42	58	Вниз	7	Вверх	23	230
21		3,2	4,0	4,8	35	65	Вниз	9	Вверх	21	380
22		4,0	4,8	4,2	52	48	Вниз	13	Вверх	17	340
23		3,6	4,8	4,2	53	47	Вниз	13	Вверх	17	400
24		5,0	3,4	3,0	56	44	Вниз	13	Вверх	17	340





① Выпишем опорные реакции:

$$\sum M_A = 0; -M + R_A \cdot 0 + q_1 \cdot b \cdot \frac{b}{2} - (q_2 \cdot c) \cdot (b + \frac{c}{2}) - R_B \cdot (b + c);$$

$$R_B = \frac{-M + (q_1 \cdot b) \cdot \frac{b}{2} - (q_2 \cdot c) \cdot (b + \frac{c}{2}) + P \cdot a}{b + c} = \frac{-36 \cdot (10 \cdot 3,4 \cdot 1,7 - 20 \cdot 3 \cdot (2,4 + 1,5)) + 64 \cdot 4,8}{6,4}$$

$$= 5,4688 \text{ кН}$$

$$\sum M_B = 0; -M + P(a + b + c) + R_A \cdot (b + c) - q_1 \cdot b \cdot (c + \frac{b}{2}) + q_2 \cdot c \cdot \frac{c}{2} + R_B \cdot 0 = 0$$

$$R_A = \frac{M - P(a + b + c) + q_1 \cdot b \cdot (c + \frac{b}{2}) - q_2 \cdot c \cdot \frac{c}{2}}{b + c};$$

$$R_A = \frac{36 - 64 \cdot (4,8 + 3,4 + 3) + 10 \cdot 3,4 \cdot (3 + 1,7) - 20 \cdot 3 \cdot 1,5}{6,4} = -95,4688 \text{ кН}$$

② Проверка:

$$\sum P_y = 0; -P - R_A - q_1 \cdot b - q_2 \cdot c - R_B = 0;$$

$$-64 + 95,4688 + 10 \cdot 3,4 - 20 \cdot 3 - 5,4688 = 0; \sum P_y = 0 < 1\%$$

Проверка выполняется

③ Построение эпюр Q_y и M_z :

I участок лев: от м.С до м.А, $0 \leq x \leq a$

$$\sum P_y \text{ I лев} = 0; \sum P_y = -P + Q_y = 0;$$

$Q_y = P$ - постоянная зависимость; $Q_y = 64 \text{ кН}$

$$\sum M_z \text{ I лев} = 0; \sum M_z \text{ I лев} = P \cdot x - M_z - M = 0; \text{ - линейная}$$

$$\text{Т.С } M_z(x=0) = -M = -36 \text{ кНм}$$

$$\text{м.А } M_z(x=a) = P \cdot a - M = 64 \cdot 4,8 - 36 = 271,2 \text{ кНм}$$

II участок лев: от м.А до м.Д; $4,8 \leq x \leq 8,2$

$$\sum P_y \text{ II лев} = 0; \sum P_y \text{ II лев} = -P - R_A + Q_y + q_1(x-a)$$

$Q_y = R_A + P - q_1(x-a)$ - линейная

$$\text{м.А } Q_y(x=a) = R_A + P - q_1(a-a); R_A + P = -95,4688 + 64 = -31,4688 \text{ кН}$$

$$\text{м.Д } Q_y(x=8,2) = R_A + P - q_1(a+b-a) = R_A + P - q_1 \cdot b = -95,4688 + 64 - 10 \cdot 3,4 = -65,4688 \text{ кН}$$

$$\sum M_z \text{ II лев} = 0; \sum M_z \text{ II лев} = P \cdot x - M + R_A(x-a) - q_1(x-a) \cdot (\frac{x-a}{2}) - M_z = 0$$

$$M_z = P \cdot x - M + R_A(x-a) - \frac{q_1}{2} \cdot (x-a)^2 \text{ - парабола}$$

$$\text{м.А } M_z(x=a) = P \cdot a - M + R_A \cdot 0 - \frac{q_1}{2} \cdot 0 = 64 \cdot 4,8 - 36 = 271,2 \text{ кНм}$$

$$\text{м.Д } M_z(x=8,2=a+b) = P \cdot (a+b) - M + R_A(a+b-a) - \frac{q_1}{2} \cdot (a+b-a)^2 = 64 \cdot 8,2 - 36 + (-95,4688) \cdot 3,4 - 5 \cdot 3,4^2 = 106,4061 \text{ кНм}$$

$$-36 + (-95,4688) \cdot 3,4 - 5 \cdot 3,4^2 = 106,4061 \text{ кНм}$$

Экстремумы $M_z = 0$;
 $M'_z = P - q_1(x-a) + Ra = 0$

$q_1(x-a) = -Ra - P$

$x = \frac{-Ra - P}{q_1} + a$; $x = 7,9469$ - в пределах участка.

$M_z(x_{экс}) = P \cdot x_{экс} - M + Ra(x_{экс} - a) - \frac{q_1}{2} \cdot (x_{экс} - a)^2 = 64 \cdot 7,9469 - 36 + (-95,4688) \cdot (7,9469 - 4,8) - 5 \cdot (7,9469 - 4,8)^2 = 122,6559 \text{ кН}\cdot\text{м}$

III уз. лев: от м. D до м. B; $8,2 \leq x \leq 11,2$

$\sum p_y^{II \text{ лев}} = 0$; $\sum p_y^{II \text{ лев}} = -P - Ra + q_1 \cdot b - q_2(x-a-b) + Q_y = 0$;

$Q_y = P + Ra - q_1 \cdot b + q_2 \cdot (x-a-b)$ - линейная.

м. D: $Q_y(x=8,2=a+b) = P + Ra - q_1 \cdot b + 0 = 64 - 95,4688 - 10 \cdot 3,4 = -64,4688$;
 м. B: $Q_y(x=11,2=a+b+c) = P + Ra - q_1 \cdot b \cdot (x-a-b + \frac{c}{2}) + q_2 \cdot (x-a-b) \cdot x \cdot (\frac{x-a-b}{2}) - M_z = 0$

$Q_y(x=11,2) = 64 - 95,4688 - 10 \cdot 3,4 + 20 \cdot (a+b+c - \frac{c}{2}) = -5,4688$

$M_z = Px - M + Ra(x-a) - q_1 \cdot b(x-a-b + \frac{c}{2}) + \frac{q_2}{2} (x-a-b)^2$ - парабола.

м. D: $M_z(x=8,2=a+b) = P \cdot (a+b) - M + Ra \cdot b - q_1 \cdot b \cdot \frac{b}{2} + 0$;

м. D M_z III участка = м. D. M_z II участка $\Rightarrow M_z = 106,4061 \text{ кН}\cdot\text{м}$

м. B: $M_z(x=11,2=a+b+c) = P \cdot (a+b+c) - M + Ra + (b+c) \cdot q_1 \cdot b \cdot x \cdot (c + \frac{b}{2}) + \frac{q_2}{2} \cdot c^2 = 64 \cdot 11,2 - 36 - 95,4688 \cdot 6,4 - 10 \cdot 3,4(3+1,7) + 10 \cdot 9 = -0,0003 \text{ кН}\cdot\text{м}$

Экстремумы $M'_z = 0$; $q_2 \cdot (x-a-b) - q_1 \cdot b + Ra + P = 0$.

$x = \frac{q_1 b - Ra - P}{q_2} + a + b$; $x = \frac{10 \cdot 3,4 - 95,4688 - 64}{20} + 4,8 + 3,4 = 1,9267$ - за пределами участка \Rightarrow

\Rightarrow выберем м. из середины участка.

$M_z(x_{ср} = 9,7) = P \cdot x_{ср} - M + Ra(x_{ср} - a) - q_1 \cdot b(x_{ср} - a - b + \frac{c}{2}) + \frac{q_2}{2} \cdot (x_{ср} - a - b)^2 = 64 \cdot 9,7 - 36 - 95,4688(9,7 - 4,8) - 10 \cdot 3,4(9,7 - 3,4 - 4,8 + 1,7) + 10 \cdot (9,7 - 3,4 - 4,8)^2 = 23,2029 \text{ кН}\cdot\text{м}$

III уз. прав: от м. B до м. D $0 \leq x_1 \leq 3,0$

$\sum p_y^{III \text{ прав}} = 0$; $\sum p_y^{III \text{ прав}} = -Rb - q_2 x_1 - Q_y = 0$

$Q_y = -Rb - q_2 \cdot x_1$ - линейная

м. B: $Q_y(x=0) = -5,4688 - 20 \cdot 0 = -5,4688 \text{ кН}$

м. D: $Q_y(x=3,0=a) = -5,4688 - 20 \cdot 3 = -65,4688 \text{ кН}$

$\sum M_z^{III \text{ прав}} = 0$; $\sum M_z^{III \text{ прав}} = M_z - Rb \cdot x_1 - q_2 \cdot \frac{x_1^2}{2}$; $x_1 = 0$;

$M_z = Rb \cdot x_1 + q_2 \cdot \frac{x_1^2}{2} = 0$ - парабола

$$M.B \quad M_z(x_1=0) = 5,4688 \cdot 0 + q_2 \cdot 0 = 0 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M.D: M_z(x_1=3,0) = 5,4688 \cdot 3 + \frac{q}{2} \cdot 20 = 106,4046 \text{ кН}$$

$$\text{Экстремумы } M_z' = 0; \quad M_z' = q_2 x_1 + R_B = 0$$

$$x_1 = -\frac{R_B}{q_2}; \quad x_1 = -\frac{5,4688}{20} = -0,2734 - \text{за пределами } y_2\text{-ка} \Rightarrow$$

\Rightarrow берем м. у середины участка

$$M_z(x_1=1,5) = 5,4688 \cdot 1,5 + \frac{1,5^2}{2} \cdot 20 = 30,7032 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

II уз. прав: от м. D до м. A $3,0 \leq x_1 \leq 6,4$

$$\sum F_{y \text{ прав}} = 0; \quad \sum F_y = -R_B - q_2 \cdot C + q_1(x_1 - C) - Q_y = 0$$

$$Q_y = -R_B - q_2 \cdot C + q_1(x_1 - C) - \text{линейная}$$

$$M.D: Q_y(x_1=3,0=C) = -5,4688 - 20 \cdot 3 + 10 \cdot 0 = -65,4688 \text{ кН}$$

$$M.A: Q_y(x_1=6,4) = -5,4688 - 20 \cdot 3 + 10 \cdot 3,4 = -31,4688 \text{ кН}$$

$$\sum M_z \text{ прав} = 0; \quad \sum M_z \text{ прав} = M_z - R_B \cdot x_1 - q_2 \cdot C \cdot (x_1 - \frac{C}{2}) + q_1(x_1 - C) \cdot x \left(\frac{x_1 - C}{2} \right)$$

$$M_z = R_B \cdot x_1 + q_2 \cdot C \left(x_1 - \frac{C}{2} \right) - q_1(x_1 - C) \left(\frac{x_1 - C}{2} \right) - \text{парабола}$$

$$M.D: M_z(x=3,0=C) = R_B \cdot C + q_2 \cdot C \cdot \frac{C}{2} - q_1 \cdot 0 = 5,4688 \cdot 3 + 20 \cdot 3 \cdot 1,5 = 106,4064 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M.A: M_z(x=6,4) = R_B(b+C) + q_2 \cdot C \left(b + \frac{C}{2} \right) - q_1 \cdot b \cdot \frac{C}{2} = 5,4688 \cdot 6,4 + 20 \cdot 3 \cdot (3,4 + 1,5) - 10 \cdot 3,4 \cdot 1,7 = 271,2003 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$\text{Экстремумы } M_z' = 0; \quad R_B + q_2 \cdot C - q_1 \cdot (x_1 - C) = 0;$$

$$x_1 = \frac{R_B + q_2 \cdot C}{q_1} + C; \quad x_1 = 9,5469 - \text{за пределами } y_2\text{-ка} \Rightarrow$$

\Rightarrow берем м. у сер. уз-ка

$$M_z(x_1=4,7) = 5,4688 \cdot 4,7 + 20 \cdot 3 \cdot (4,7 - 1,7) - 10 \cdot 1,7 \cdot \frac{1,7}{2} = 151,2533 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

III уз. прав: от м. A до м. C $6,4 \leq x \leq 11,2$

$$\sum F_{y \text{ прав}} = 0; \quad \sum F_y \text{ прав} = -R_B - q_2 \cdot C + q_1 \cdot b - R_A - Q_y = 0$$

$$Q_y = -R_B - q_2 \cdot C + q_1 \cdot b - R_A - \text{постоянная зависимость.}$$

$$Q_y = -5,4688 - 20 \cdot 3 + 10 \cdot 3,4 + 95,4688 = 64 \text{ кН}$$

$$\sum M_z \text{ прав} = 0; \quad \sum M_z \text{ прав} = M_z - R_B \cdot x_1 - q_2 \cdot C \cdot (x_1 - \frac{C}{2}) + q_1 \cdot b \cdot (x_1 - C - \frac{b}{2}) - R_A \cdot (x_1 - b - C) = 0;$$

$$M_z = R_B \cdot x_1 + q_2 \cdot C \left(x_1 - \frac{C}{2} \right) - q_1 \cdot b \left(x_1 - C - \frac{b}{2} \right) + R_A(x_1 - b - C) - \text{линейная}$$

$$M.A(x=6,4=b+C) = 5,4688 \cdot 6,4 + 20 \cdot 3 \cdot (3,4 + 1,5) - 10 \cdot 3,4 \cdot 1,7 = 271,2 \text{ кН} \quad (5)$$

$$m.C : N_z(x=11,2 = a+b+c) = R_b(a+b+c) + q_2 \cdot c \cdot (a+b+\frac{c}{2}) -$$

$$- q_1 \cdot b \cdot (a+\frac{b}{2}) + R_a \cdot a = 5,4688 \cdot 11,2 + 20,3 \cdot (8,2+1,5) - 10 \cdot 3,4 \cdot (4,8+1,7) -$$

$$- 95,4688 \cdot 4,8 = -35,9997 \text{ кН}$$

- ④ Погонор поперечного сечения балки:

$$M_{max} = 271,20 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$R = 295 \text{ МПа}$$

Стальная двутавровая балка:

$$W_{tr} \leq 2 S_z$$

$$W_{mp} = \frac{M_{max}}{R} = \frac{271,2}{295 \cdot 10^3} = 919,32 \text{ см}^3$$

$$W_{mp} = 919,32 \text{ см}^3 \leq W_z = 953 \text{ см}^3 - \text{принимали двутавр } \text{N}40.$$

$$S_z \geq \frac{W_{mp}}{2} = \frac{919,32 \text{ см}^3}{2} = 459,66 \text{ см}^3$$

$$545 \text{ см}^3 \geq 459,66 \text{ см}^3 - \text{верно} \Rightarrow \text{двутавр } \text{N}40 - \text{верно.}$$

Деревянная балка:

$$R = 12 \text{ МПа}$$

$$W_{mp} = \frac{M_{max}}{R}; W_{mp} = \frac{271,2}{12 \cdot 10^3} = 22600 \text{ см}^3$$

$$n = \frac{W_{mp} \cdot 4}{\pi \cdot R^3_{max}} = \frac{22600 \cdot 4}{3,14 \cdot 15^3} = 8,5303 \Rightarrow 9 \text{ балок}$$

$$R_{min} = \sqrt[3]{\frac{W_{mp} \cdot 4}{\pi \cdot n}} = \sqrt[3]{\frac{22600 \cdot 4}{3,14 \cdot 9}} = 14,7319 \text{ см}$$

$$\text{Принимали } n = 15 \text{ см} > R_{min}$$

- ⑤ Момент инерции итерес балок:

$$J = \frac{n \pi r^4}{4} = \frac{9 \cdot 3,1416 \cdot 15^4}{4} = 354,9319 \text{ см}^4$$

Момент сопротивления:

$$W = \frac{J}{r} = \frac{354,932}{15} = 23662,1334 > W_{tr} = 22600 \text{ см}^3$$

Наибольшее напряжение:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_z} = \frac{271,22}{23662,1334} = 0,0115^3 \text{ МПа} < R$$

Расчет прочности двутавровой балки в заданном сечении:

$$x = a + \frac{1}{4} l; \text{ где } l = b + c = 6,4$$

$$x = 6,15 \text{ м}$$

$$Q_y(x=6,15) = R_a + P - q_1 \cdot (x-a) = -95,4688 + 64 - 10 \cdot (6,15 - 4,8) =$$

$$= -44,9688 \text{ кН}$$

⑥

$$M_z(x=6,15) = P \cdot x - M + R_a(x-a) - \frac{q_1}{2}(x-a) = 64 \cdot 6,15 - 36 - 96,4688 \cdot (6,15 - 4,8) - 5 \cdot (6,15 - 4,8)^2 = 218,6046 \text{ МПа}$$

6) Вычисление напряжений

$$\text{Норм. напряжения } \sigma_x = \frac{M_z \cdot y}{J_z}$$

$$\text{Касательные напряжения } \tau_{xy} = \frac{Q_y \cdot S_z^w}{J_z \cdot b}$$

$$\text{для точек 1, 7 } S_z^w = 0, \text{ для точек 2-6 } S_z^w = S_z - 0,5 \cdot y^2 \text{ и } b = s$$

$$\text{Точка 1: } y = h/2 = 400/2 = 200 \text{ мм}$$

$$\sigma_1 = \frac{218,6046 \cdot 0,02 \cdot 10^{-3}}{19062 \cdot 10^{-8}} = 230,411 \text{ МПа}$$

$$\tau_1 = 0$$

$$\text{Точка 2: } y_2 = \frac{h}{2} - t = \frac{400}{2} - 13 = 187 \text{ мм}$$

$$\sigma_2 = \frac{218,6046 \cdot 0,187 \cdot 10^{-3}}{19062 \cdot 10^{-8}} = 215,4342 \text{ МПа}$$

$$S_z^w = 545 \cdot 0,5 \cdot 0,83 \cdot 1,87^2 = 399,8487 \text{ см}^3$$

$$\tau_2 = \frac{-44,9688 \cdot 399,8487}{19062} = -11,3656 \text{ МПа}$$

$$s = b = 8,3 \text{ мм}$$

$$\text{Точка 3: } y_3 = h/4 = 100 \text{ мм}$$

$$\sigma_3 = \frac{218,6046 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}}{19062 \cdot 10^{-8}} = 115,2054 \text{ МПа}$$

$$S_z^w = 545 - 0,5 \cdot 0,83 \cdot 10^2 = 503,5 \text{ см}^3$$

$$\tau_3 = \frac{-44,6688 \cdot 503,5}{19062 \cdot 0,083} = -14,2153 \text{ МПа}$$

$$\text{Точка 4: } y_4 = 0$$

$$\sigma_4 = 0$$

$$S_z^w = 545 - 0,5 \cdot 0 = 545 \text{ см}^3$$

$$\tau_4 = \frac{-44,6688 \cdot 545}{19062 \cdot 0,083} = -15,3890 \text{ МПа}$$

$$\text{Точка 5: } y_5 = -h/4 = -100 \text{ мм}$$

$$\sigma_5 = \frac{218,6046 \cdot (-0,1) \cdot 10^{-3}}{19062 \cdot 10^{-8}} = -115,2054 \text{ МПа}$$

$$S_z^w = 545 - 0,5 \cdot 0,83 \cdot 10 = 503,5 \text{ см}^3 = S_z^w_3 \Rightarrow \tau_5 = \tau_3 = -14,2153 \text{ МПа}$$

$$\text{Точка 6: } y_6 = -h/2 + t = -400 + 13 = -187 \text{ мм}$$

$$\sigma_6 = \frac{218,6046 \cdot (-0,187) \cdot 10^{-3}}{19062 \cdot 10^{-8}} = -215,4342 \text{ МПа}$$

$$S_{26}^{co} = 545 - 0,5 \cdot 0,083 \cdot (1,87)^2 = 399,8787 = S_{22} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau_2 = \tau_6 = -113,656 \text{ МПа}$$

Точка 7: $y_7 = -h/2 = -20 \text{ мм}$

$$\sigma_7 = \frac{219,6046 \cdot (-0,2) \cdot 10^{-3}}{19062 \cdot 10^{-8}} = -230,4108 \text{ МПа}$$

$$\tau_7 = 0; \text{ м.к. } S_{27}^{co} = 0$$

⑦ Главные напряжения и сечения в характерных точках

$$\sigma_{\max/\min} = 0,5 \cdot \sigma \pm \sqrt{0,25 \cdot \sigma^2 + \tau^2}$$

$$\alpha_{\max} = \arctg \left(\frac{\sigma_{\max} - \sigma}{\tau} \right)$$

Точка 1: м.к. $I = 0$, но $\sigma = 230,411 \text{ МПа}$ и в главных напряжениях $\sigma_{\min} = 0$; $\alpha_{\max} = 0^\circ$.

Точка 2: $\sigma_{\max} = 0,5 \cdot 215,4342 + \sqrt{0,25 \cdot 215,4342^2 + 113,656^2} = 216,0322 \text{ МПа}$
 $\sigma_{\min} = 0,5 \cdot 215,4342 - (-11) = -0,5979 \text{ МПа}$
 $\alpha_{\max} = \arctg \left(\frac{216,0322 - 215,4342}{-11,3656} \right); \arctg(-0,0526) = -3,01^\circ$

Точка 3: $\sigma_{\max} = 0,5 \cdot 115,2054 + \sqrt{0,25 \cdot 115,2054^2 + 14,2153^2} = 116,9335 \text{ МПа}$
 $\sigma_{\min} = 0,5 \cdot 115,2054 - \sqrt{0,25 \cdot 115,2054^2 + 14,2153^2} = -1,7281$

$$\alpha_{\max} = \arctg \left(\frac{116,9335 - 115,2054}{-14,2153} \right) = -0,1216$$

$$\alpha_{\max} = -6,93^\circ$$

Точка 4:

$$\sigma_{\max} = 0,5 \cdot 0 + \sqrt{0 + 15,387^2} = 15,3870 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\min} = -15,3870 \text{ МПа}$$

$$\alpha_{\max} = \arctg \frac{15,3870}{-15,3870} = \arctg(-1) = -45^\circ$$

Точка 5:

$$\sigma_{\max} = 0,5 \cdot (-115,2054) + \sqrt{0,25 \cdot 115,2054^2 + 14,2153^2} = 1,7281 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\min} = 0,5 \cdot (-115,2054) - \sqrt{0,25 \cdot 115,2054^2 + 14,2153^2} = -116,9335 \text{ МПа}$$

$$\alpha_{\max} = \arctg \frac{1,7281 + 115,2054}{-14,2153} = \arctg(-8,2259) = -89,07^\circ$$

Точка 6: $\sigma_{\max} = 0,5 \cdot (-215,4342) + \sqrt{0,25 \cdot 215,4342^2 + 11,3656^2} =$
 $= 0,5980 \text{ МПа}$

$$\sigma_{\min} = 0,5 \cdot (-215,4342) - \sqrt{0,25 \cdot 215,4342^2 + 11,3656^2} = -216,0326 \text{ МПа}$$

$$\alpha_{\max} = \arctg \frac{0,5980 + 215,4342}{-11,3656}$$

$$\arctg(-19,0075) = -86,99^\circ$$

Точка 7: $\sigma_{\max} = 0$; $\sigma_{\min} = -230,4108 \text{ МПа}$
 $\chi_{\max} = -90^\circ$

⑧ Вычисление приведенных напряжений и коэффициента запаса прочности

$$\sigma_i = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} ; k_{\text{нч}} = \frac{R_n}{\sigma_i}$$

Точка 1,7: $\sigma_i = 230,411 - 0 = 230,411 \text{ МПа} \leq R = 295 \text{ МПа}$

$$k_{\text{нч}} = \frac{295}{230,411} = 1,2803$$

Точка 2,6: $\sigma_i = 216,0322 + 0,5879 = 216,6301 \text{ МПа} \leq R$

$$k_{\text{нч}} = \frac{295}{216,6301} = 1,3618$$

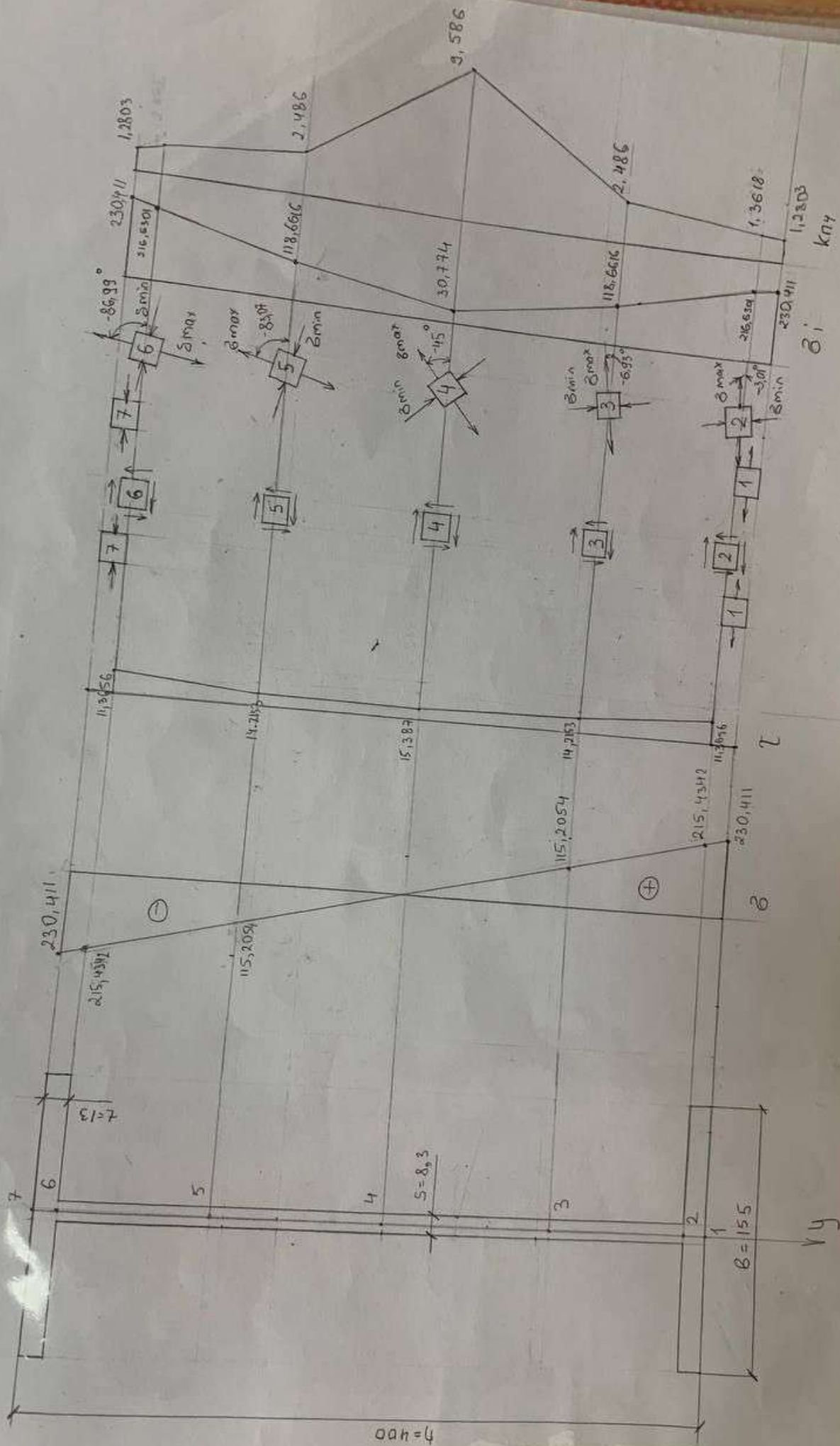
Точка 3,5:

$$\sigma_i = 116,9335 + 1,7281 = 118,6616 \text{ МПа} < R$$

$$k_{\text{нч}} = \frac{295}{118,6616} = 2,4860$$

Точка 4: $\sigma_i = 15,3870 + 15,3870 = 30,774 \text{ МПа}$

$$k_{\text{нч}} = \frac{295}{30,774} = 9,586$$



Исходные данные
Тип Балки: шарнирно опертая

Длина Балки: 11.20 м

Координата левой опоры: 4.80 м

Координата правой опоры: 11.20 м

Коэффициент надежности по нагрузке: 1.00

Расчетные нагрузки

На Балку действует 1 сосредоточенных сил

Величина 1-ой силы: -64.000 кН, ее координата: 0.000 м

На Балку действует 1 пар сил

Величина 1-ой пары сил: -36.000 кНм, ее координата: 0.000 м

На Балку действует 2 распределенных нагрузок

Величина 1-ой нагрузки:

$q_1 = 10.000$ кН/м, $q_2 = 10.000$ кН/м

ее координаты: $x_1 = 4.800$ м, $x_2 = 8.200$ м

Величина 2-ой нагрузки:

$q_1 = -20.000$ кН/м, $q_2 = -20.000$ кН/м

ее координаты: $x_1 = 8.200$ м, $x_2 = 11.200$ м

Результаты расчетов

Значения опорных реакций: $R_a = 95.469$ кН, $R_b = -5.469$ кН

Величина максимального изгибающего момента:

$M_{\max} = 271.20$ кНм, $x_{\max} = 4.800$ м

Поперечная сила и изгибающий момент (от действия расчетных нагрузок)

$x, \text{ м}$	$Q(x), \text{ кН}$	$M(x), \text{ кНм}$
0.000	64.000	-36.000
1.120	64.000	35.680
2.240	64.000	107.360
3.360	64.000	179.040
4.480	64.000	250.720
4.800	64.000	271.200
4.800	-31.469	271.200
4.800	-39.469	242.825
5.600	-50.669	192.348
6.720	-61.869	129.327
7.840	-61.869	62.426
8.960	-50.269	18.669
10.080	-27.869	-0.000
11.200	-5.469	

Тип Балки: шарнирно опертая

Исходные данные

Длина Балки: 11.20 м.

Координата левой опоры: 4.80 м.

Координата правой опоры: 11.20 м.

Коэффициент надежности по нагрузке: 1.00

Расчетные нагрузки

На Балку действуют 1 сосредоточенных сил

Величина 1-ой силы: -64.000 кН, ее координата: 0.000 м.

На Балку действуют 1 пар сил

Величина 1-ой пары сил: -36.000 кНм, ее координата: 0.000 м.

На Балку действуют 2 распределенных нагрузок

Величина 1-ой нагрузки:

$q1 = 10.000 \text{ кН/м}$, $q2 = 10.000 \text{ кН/м}$.

ее координаты: $x1 = 4.800 \text{ м}$, $x2 = 8.200 \text{ м}$.

Величина 2-ой нагрузки:

$q1 = -20.000 \text{ кН/м}$, $q2 = -20.000 \text{ кН/м}$.

ее координаты: $x1 = 8.200 \text{ м}$, $x2 = 11.200 \text{ м}$.

Результаты расчетов

$x = 6.150 \text{ м}$, $Q = -44.969 \text{ кН}$, $M = 219.605 \text{ МПа}$

Расчетное сопротивление: $R = 295.00 \text{ МПа}$

Сечение - двутавр №40

$h=40 \text{ см}$, $b=15.5 \text{ см}$, $s=0.83 \text{ см}$, $t=1.30 \text{ см}$, $S=545.0 \text{ см}^3$, $J=19062 \text{ см}^4$

Точка 1: ($y=20.000 \text{ см}$)

$Sx=230.411 \text{ МПа}$, $Txy=0.000 \text{ МПа}$, $Smax=230.411 \text{ МПа}$, $Smin=0.000 \text{ МПа}$,

$ALFamax=0.00^\circ$, $Si=230.411 \text{ МПа}$, $Knch=1.28$

Точка 2: ($y=18.700 \text{ см}$)

$Sx=215.434 \text{ МПа}$, $Txy=-11.366 \text{ МПа}$, $Smax=216.032 \text{ МПа}$, $Smin=-0.598 \text{ МПа}$,

$ALFamax=-3.01^\circ$, $Si=216.630 \text{ МПа}$, $Knch=1.36$

Точка 3: ($y=10.000 \text{ см}$)

$Sx=115.205 \text{ МПа}$, $Txy=-14.311 \text{ МПа}$, $Smax=116.957 \text{ МПа}$, $Smin=-1.751 \text{ МПа}$,

$ALFamax=-6.98^\circ$, $Si=118.708 \text{ МПа}$, $Knch=2.49$

Точка 4: ($y=0.000 \text{ см}$)

$Sx=0.000 \text{ МПа}$, $Txy=-15.490 \text{ МПа}$, $Smax=15.490 \text{ МПа}$, $Smin=-15.490 \text{ МПа}$,

$ALFamax=-45.00^\circ$, $Si=30.981 \text{ МПа}$, $Knch=9.52$

Точка 5: ($y=-10.000 \text{ см}$)

$Sx=-115.205 \text{ МПа}$, $Txy=-14.311 \text{ МПа}$, $Smax=1.751 \text{ МПа}$, $Smin=-116.957 \text{ МПа}$,

$ALFamax=-83.02^\circ$, $Si=118.708 \text{ МПа}$, $Knch=2.49$

Точка 6: ($y=-18.700 \text{ см}$)

$Sx=-215.434 \text{ МПа}$, $Txy=-11.366 \text{ МПа}$, $Smax=0.598 \text{ МПа}$, $Smin=-216.032 \text{ МПа}$,

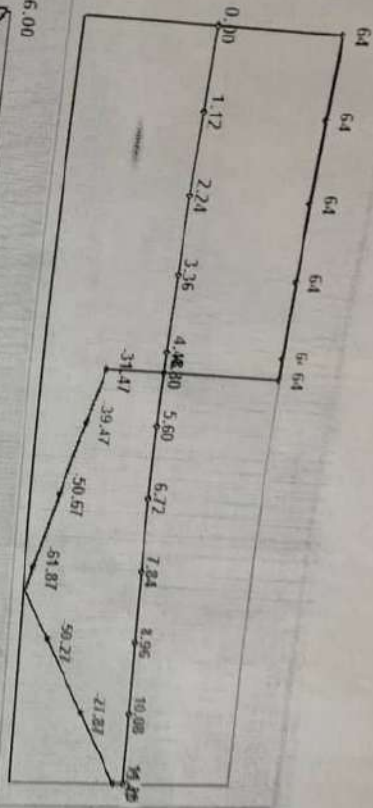
$ALFamax=-86.99^\circ$, $Si=216.630 \text{ МПа}$, $Knch=1.36$

Точка 7: ($y=-20.000 \text{ см}$)

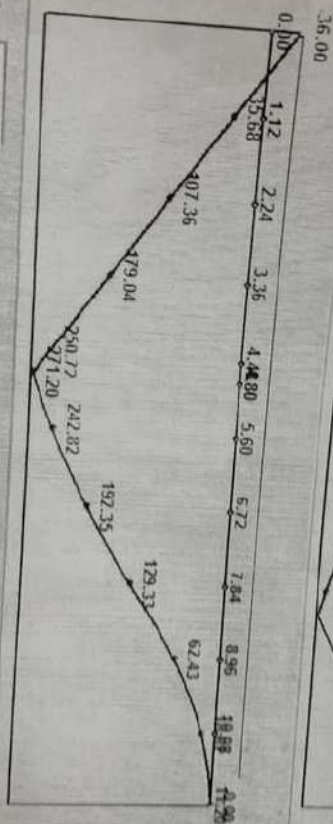
$Sx=-230.411 \text{ МПа}$, $Txy=0.000 \text{ МПа}$, $Smax=0.000 \text{ МПа}$, $Smin=-230.411 \text{ МПа}$,

$ALFamax=-90.00^\circ$, $Si=230.411 \text{ МПа}$, $Knch=1.28$

Эпюра $Q(x)$, кН



Эпюра $M(x)$, кНм



$x = 0$ M $Q(x) = 64.000$ кН $M(x) = -36.000$ кНм

OK

1) Вычислим опорные реакции:

$$\sum M_A = 0; -D - P \cdot a - R_B \cdot (a+b) - q_1 \cdot \left(\frac{a+b}{2}\right) \cdot (a+b) - M = 0$$

$$R_B = \frac{-P \cdot a - q_1 \cdot \left(\frac{a+b}{2}\right) \cdot (a+b) - M}{a+b} = \frac{-64 \cdot 4,8 + 10 \cdot \left(\frac{8,2}{2}\right) \cdot 8,2 - 36}{8,2} = -82,6537 \text{ кН.}$$

$$\sum M_B = 0; 0 - M + P \cdot b + q_1 \cdot (a+b) \cdot \left(\frac{a+b}{2}\right) + R_A \cdot (a+b) = 0$$

$$R_A = \frac{M - P \cdot b - q_1 \cdot (a+b) \cdot \left(\frac{a+b}{2}\right)}{a+b} = \frac{36 - 64 \cdot 3,4 - 10 \cdot 8,2 \cdot 4,1}{8,2} = -63,1463 \text{ кН.}$$

$$\text{Проверка: } \sum P_y = 0; -P - R_A - q_1 \cdot (a+b) - R_B = 0$$

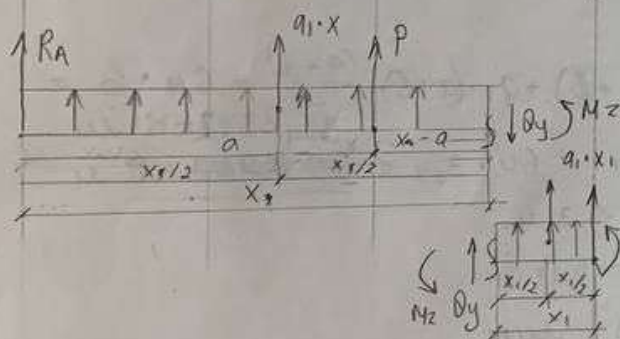
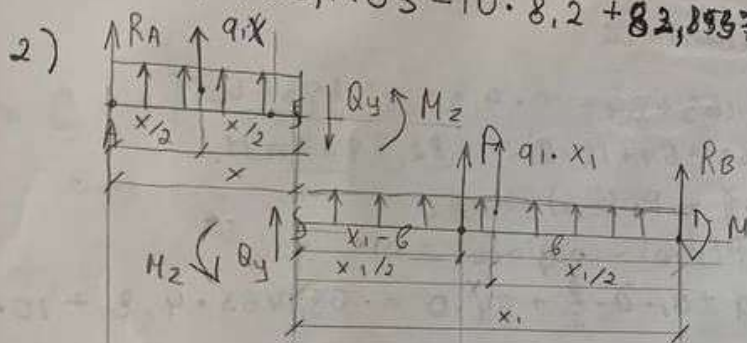
$$-64 + 63,1463 - 10 \cdot 8,2 + 82,6537 = -0,0163 \text{ - верно. } \leq 1\%$$

Однakoва Маргарита
БАРХ-211

отлично

09.06.23

Смирнов



1) τ_{yz} от м. А до м. С. $0 \leq x \leq 4,8$

$$\sum P_y = 0; \sum P_y = -R_A - q_1 \cdot x + Q_y = 0$$

$$Q_y = R_A + q_1 \cdot x - \text{линейная}$$

$$\text{м. А; } Q_y(x=0) = -63,1463 + 10 \cdot 0 = -63,1463 \text{ кН.}$$

$$\text{м. С; } Q_y(x=4,8=a) = -63,1463 + 10 \cdot 4,8 = -15,1463 \text{ кН.}$$

$$\sum M_z = 0; \sum M_z = R_A \cdot x + q_1 \cdot x \cdot \frac{x}{2} - M_z$$

$$M_z = R_A x + q_1 \cdot x \cdot \frac{x}{2} - \text{парабола.}$$

$$\text{м. А; } M_z(x=0) = -63,1463 \cdot 0 + 0 = 0$$

$$\text{м. С; } M_z(x=4,8=a) = R_A \cdot a + q_1 \cdot a \cdot \frac{a}{2} = -63,1463 \cdot 4,8 + 10 \cdot 4,8 \cdot 2,4 =$$

$$= 56,8537 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Экстремум $M'_z = 0$

$$M'_z = R_a + q_1 x = 0$$

$$x = \frac{-R_a}{q_1}; \quad x = \frac{-63,1463}{10}; \quad x = 6,3146 \text{ - за пределами}$$

$$\Rightarrow \text{из середины}$$

$$M_z(x=2,4) = -63,1463 \cdot 2,4 + 10 \cdot 2,4 \cdot 1,2 = -122,7511 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Итак: от м. А до м. В $4,2 \leq x \leq 8,2$

$$\sum P_y = 0; \quad \sum P_y = -P - q_1 x_1 - R_B + Q_y = 0$$

$$-R_A - P - q_1 x + Q_y = 0$$

$$Q_y = R_A + P + q_1 x = 0 \text{ - линейная}$$

м. С: $Q_y(x=4,8) = -63,1463 + 64 + 10 \cdot 4,8 = 48,8537 \text{ кН}$

м. В: $Q_y(x=8,2) = -63,1463 + 64 + 10 \cdot 8,2 = 82,8537 \text{ кН}$

$$\sum M_z = 0; \quad \sum M_z = R_A \cdot x + q_1 x \cdot \frac{x}{2} + P \cdot (x-a) - M_z = 0$$

$$M_z = R_A x + q_1 x \frac{x}{2} + P(x-a) \text{ - парабола}$$

м. С: $M_z(x=4,8=a) = R_a \cdot a + q_1 \cdot a \cdot \frac{a}{2} + 64 \cdot 0 = -63,1463 \cdot 4,8 + 10 \cdot 4,8 \cdot 2,4 = -187,9022 \text{ кН}\cdot\text{м}$

м. В: $M_z(x=8,2=a+b): R_a(a+b) + q_1 \cdot (a+b) \cdot \frac{(a+b)}{2} + 64 \cdot b =$

$$= -63,1463 \cdot 8,2 + 10 \cdot 8,2 \cdot 4,1 + 64 \cdot 3,4 = 35,8342 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Итак: прав: от м. В до м. С $0 \leq x \leq 3,4$

$$\sum P_y = 0; \quad \sum P_y = -q_1 x_1 - R_B - Q_y = 0$$

$$Q_y = -q_1 x_1 - R_B - \text{линейная}$$

м. В: $Q_y(x_1=0) = 0 + 62,8537 = 82,8537 \text{ кН}$

м. С: $Q_y(x_1=3,4=b) = -10 \cdot 3,4 + 82,8537 = 48,8537 \text{ кН}$

$$\sum M_z = 0; \quad \sum M_z = M_z - R_B \cdot x_1 - q_1 \cdot x_1 \cdot \frac{x_1}{2} + M = 0$$

$$M_z = R_B \cdot x_1 + q_1 \cdot x_1 \cdot \frac{x_1}{2} + M = 0 \text{ - парабола}$$

м. В: $M_z(x_1=0) = R_B \cdot 0 + 0 + M = 36 \text{ кН}\cdot\text{м}$

м. С: $M_z(x_1=3,4=b) = R_B \cdot b + q_1 \cdot b \cdot \frac{b}{2} + M =$

$$+ 10 \cdot 3,4 \cdot 1,7 + 36 = -187,9026 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Экстремум $M'_z = 0; \quad M'_z = -R_B + q_1 x + M = 0$

$$x = \frac{-R_B - M}{q_1}; \quad x = \frac{-82,8537 + 36}{10} = 11,6554 \text{ - за предел}$$

из сеп.

$$M_z(x=1,7) = -82,8537 \cdot 1,7 + 10 \cdot 1,7 \cdot \frac{1,7}{2} + 36 = -28,8513 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$= -90,4013 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Т.е. прав: от м. С до м. А; $3,4 \leq x \leq 8,2$

$$\sum P_y = 0; \quad \sum P_y = -P - q_1 \cdot x_1 + Q_y - R_B$$

$Q_y = -P + q_1 \cdot x_1 + R_B$ - линейная.

м. С: $Q_y(x=3,4=b) = 64 + 10 \cdot 3,4 + 82,8537 = 15,1463 \text{ кН}$

м. А: $Q_y(x=8,2=a+b) = 64 + 10 \cdot 8,2 + 82,8537 = -63,1463$

$$\sum M_z = 0; \quad \sum M_z = M_z - R_B \cdot x_1 - q_1 \cdot x_1 \cdot \frac{x_1}{2} - P \cdot (x_1 - b) - \text{парабола}$$

м. С: $M_z(x=3,4=b) =$

$$M_z = R_B x_1 + q_1 \cdot x_1 \cdot \frac{x_1}{2} + P(x_1 - b) - \text{парабола}$$

м. С: $M_z(x=3,4=b) = R_B \cdot b + q_1 \cdot b \cdot \frac{b}{2} + P \cdot 0 = -82,8537 \cdot 3,4 + 10 \cdot 3,4 \cdot 1,7 = -28,8513 \text{ кН}\cdot\text{м}$

м. А: $M_z(x=8,2=a+b) = R_B \cdot (a+b) + q_1 \cdot (a+b) \cdot \frac{(a+b)}{2} - P \cdot a =$

$$= -82,8537 \cdot 8,2 + 10 \cdot 8,2 \cdot 4,1 - 64 \cdot 4,8 + 36 = ?$$