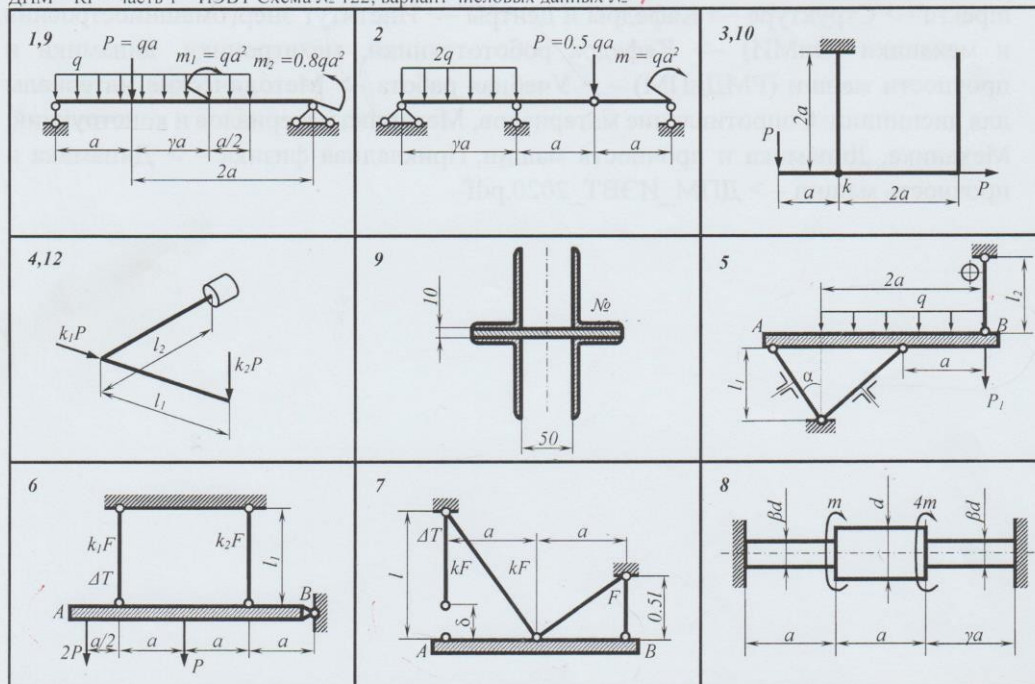
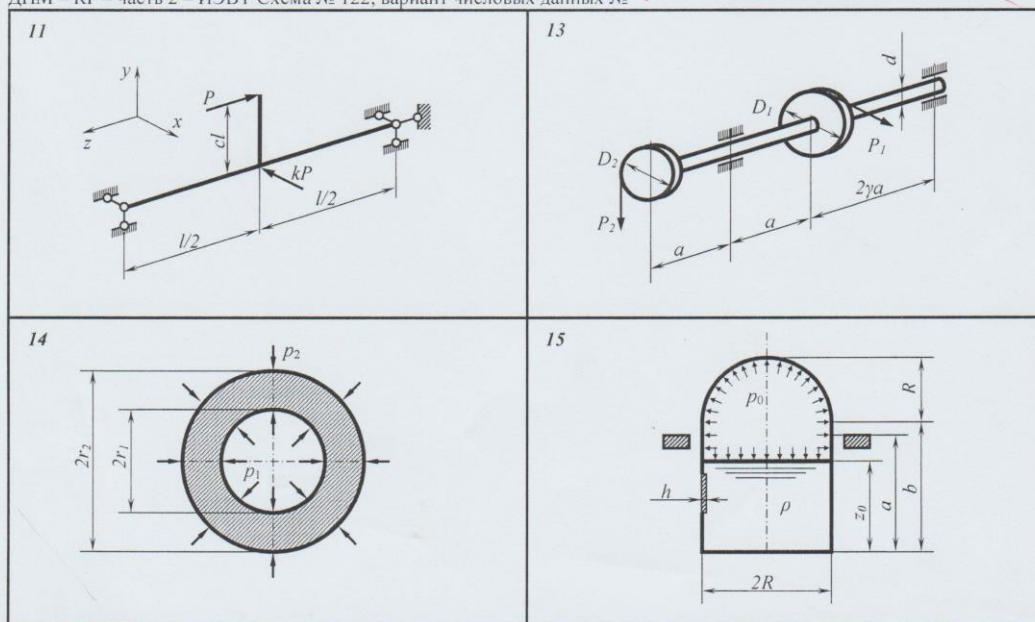


Рябенкова

ДПМ – КР – часть 1 – ИЭВТ Схема № 122, вариант числовых данных № 7



ДПМ – КР – часть 2 – ИЭВТ Схема № 122, вариант числовых данных № 7



Задача №1 Вариант №7 Рыбникова А.А. 17.06.18

Для заданных одерживаемых мидем, наподизики под создат. мидем нагрузок p, q и m , требуется:

1. Используя уравнения мидемки, определить опорные реакции.
2. Построить эпюры внутренних мидемных факторов.

Дано:

$$q = 35 \text{ кН/м}^2; p = 20 \text{ кН}; a = 2 \text{ м}; \delta = 1$$

1. Определение опорных p -ид:

$$\sum M_A = 0: -q \frac{(2+2+1)^2}{2} - q \cdot 4 + 0,8q \cdot 4 + B_y \cdot 6 - q \cdot 4 = 0$$

$$6B_y = q \left(\frac{25}{2} + 4 - 3,2 + 4 \right)$$

$$B_y = 101$$

$$\sum M_B = 0: -6A_y + q \cdot 5(2,5+1) + q \cdot 8 - q \cdot 4 + 0,8q \cdot 4 = 0$$

$$6A_y = q(17,5 + 8 - 4 + 3,2)$$

$$A_y = 144$$

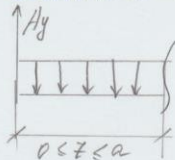
Проверка: $\sum Y = 0$

$$A_y - q \cdot a - q \cdot (a + \delta a + \frac{q}{2}) + B_y = 0$$

$$144 - 35 \cdot 2 - 35 \cdot 5 + 101 = 0$$

2. Построение эпюр внутренних мидемных факторов:

Сечение I-I, левая часть:



$$Q_y^I = A_y - q \cdot z = 0 \quad Q_y^I(0) = 144$$

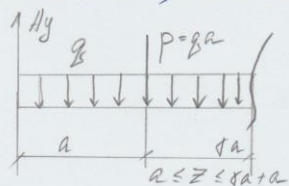
$$M_x^I = A_y \cdot z - q \frac{z^2}{2}$$

$$Q_y^I(2) = 74$$

$$M_x^I(0) = 0$$

$$M_x^I(2) = 218$$

Сечение II-II, левая часть:



$$Q_y^{II} = A_y - qa - q \cdot z = 0 \quad Q_y^{II}(2) = 4$$

$$Q_y^{II}(4) = -66$$

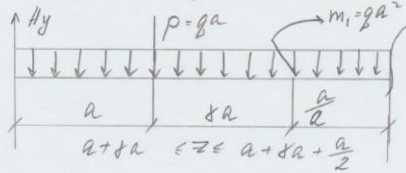
$$M_x^{II} = A_y \cdot z - qa(z-a) - q \frac{z^2}{2} \quad M_x^{II}(2) = 218$$

$$M_x^{II}(4) = 156$$

$$A_y - qa - q \cdot z = 0$$

$$z_0 = \frac{A_y - qa}{q} = 2,11$$

Сечение III-III, левая часть:



$$Q_y^{\text{III}} = Ay - p \cdot z \quad Q_y^{\text{III}}(4) = -66$$

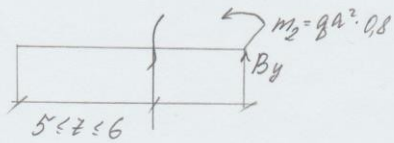
$$Q_y^{\text{III}}(5) = -101$$

$$M_x^{\text{III}} = Ay \cdot z - qa(z-2) - q \frac{z^2}{2} + m_1$$

$$M_x^{\text{III}}(4) = 156$$

$$M_x^{\text{III}}(5) = 213$$

Сечение IV-IV, правая часть:



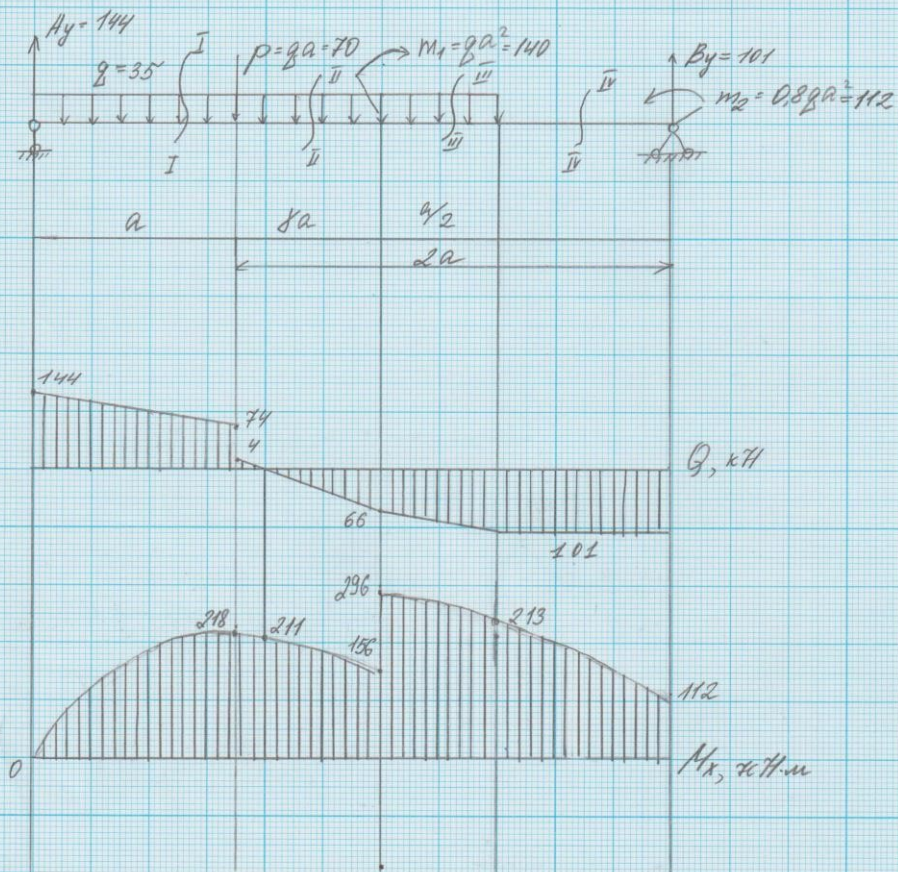
$$Q_y^{\text{IV}} = -By = -101$$

$$M_x^{\text{IV}} = By(6-z) + 0.8qa^2$$

$$M_x^{\text{IV}}(5) = 213$$

$$M_x^{\text{IV}}(6) = 112$$

Рисунок к задаче №1



Задача №2 Вариант №7 Рыбникова А.А. ФПТ-0618
 Для заданных сферических осей, находящихся под воздействием
 нагрузок p, q и m , требуется:

1. Используя уравнений сдвиги, определить опорные реакции
2. Построить эпюры внутренних силовых факторов.

Указание: силу p вычислять в соответствии со схемой.

Дано:

$$\delta = 1,5; q = 35 \text{ кН/м}^2; a = 2 \text{ м}$$

1. Определение опорных р-ств:

$$\sum_{\text{справа}} M_C = 0: -m + D_y \cdot a = 0$$

$$2D_y = 35 \cdot 4$$

$$D_y = 70$$

$$\sum_{\text{справа}} M_A = 0: -2q \cdot 3 \cdot \frac{3}{2} + B_y \cdot 3 - 0,5 \cdot q \cdot a \cdot 8 - qa^2 + D_y \cdot 7 = 0$$

$$B_y = 46,667$$

$$\sum_{\text{справа}} M_B = 0: -A_y \cdot 3 + 2q \cdot 3 \cdot \frac{3}{2} - 0,5 \cdot q \cdot 2 \cdot 2 - qa^2 + D_y \cdot 4 = 0$$

$$A_y = 128,333$$

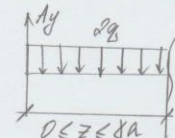
Проверка: $\sum Y = 0$

$$A_y - 2q \cdot 3 + B_y - 0,5 \cdot 35 \cdot 2 + D_y = 0$$

$$128,333 - 2 \cdot 35 + 46,667 - 0,5 \cdot 35 \cdot 2 + 70 = 0$$

2. Построение эпюр внутренних силовых факторов

Сечение I-I, левая часть:

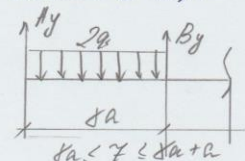


$$Q_y^I = A_y - 2q \cdot z \quad Q_y^I(0) = 128,333; \quad Q_y^I(3) = -8,667$$

$$M_x^I = A_y \cdot z - 2q \cdot \frac{z^2}{2} \quad M_x^I(0) = 0; \quad M_x^I(3) = 70$$

$$A_y - 2q \cdot z_0 = 0; \quad z_0 = \frac{A_y}{2q} = 0,63$$

Сечение II-II, лев. часть:

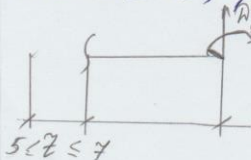


$$Q_y^{II} = A_y - 2q \cdot 8a + B_y = -35$$

$$M_x^{II} = A_y \cdot z - 2q \cdot 8a \cdot (z - \frac{8a}{2}) + B_y (z - 8a)$$

$$M_x^{II}(3) = 70; \quad M_x^{II}(5) = -0,001 \approx 0$$

Сечение III-III, правая часть:

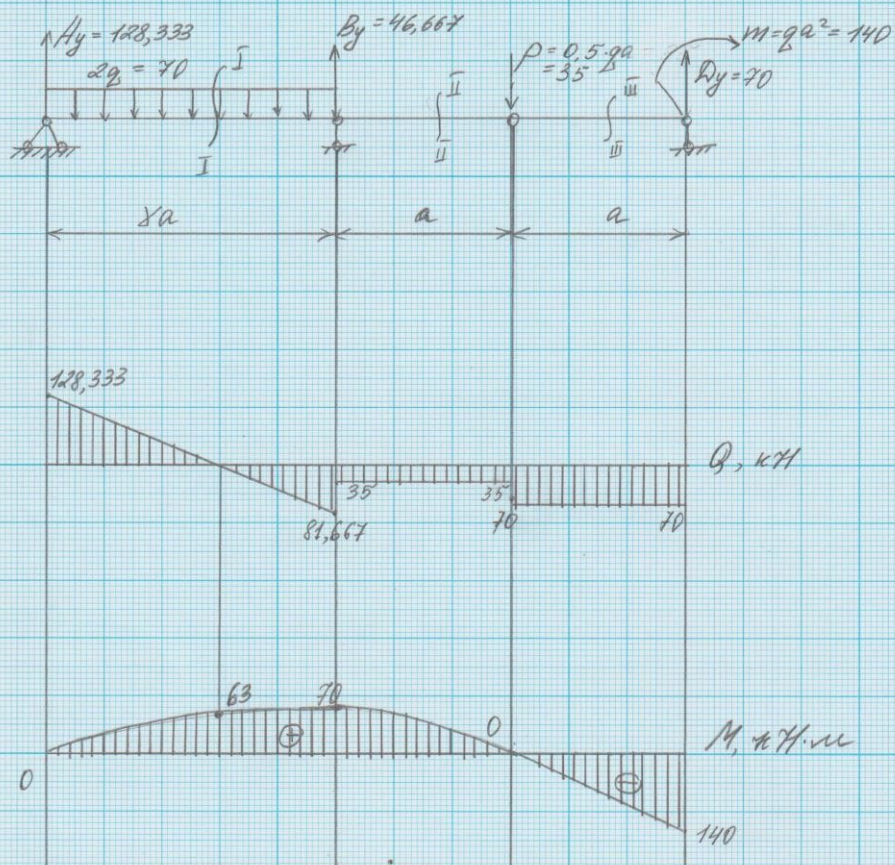


$$Q_y^{III} = -D_y = -70$$

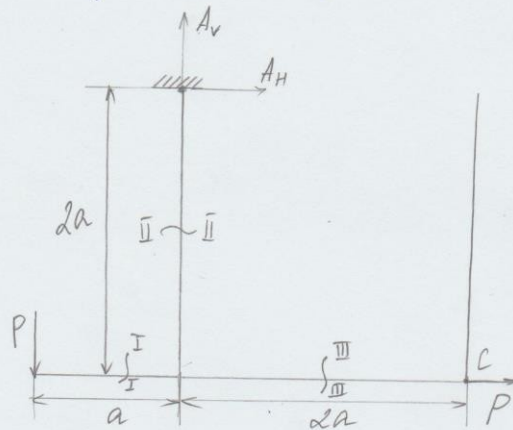
$$M_x^{III} = D_y (7-z) - m$$

$$M_x^{III}(5) = 0; \quad M_x^{III}(7) = -140$$

Рисунок к задаче №2



Задача №3 Вариант №7. Рябчихова А.А.
 Для заданных сверхлинейных систем, находящихся под
 воздействием нагрузок q, p и t , требуется:
 1. Используя уравнения равновесия, определить опор-
 ные реакции.
 2. Построить эпюры внутренних силовых факторов
 Дано:
 $q = 35 \text{ кН}\cdot\text{м}^{-1}; p = 20 \text{ кН}; a = 2 \text{ м};$



1. Опорные реакции:

$$\sum V = 0:$$

$$A_V - p = 0 \Rightarrow A_V = p$$

$$\sum H = 0:$$

$$A_H + p = 0 \Rightarrow A_H = -p$$

$$\sum M_A = 0:$$

$$p \cdot a + p \cdot 2a + M_A = 0$$

$$M_A = -3pa$$

Проверка:

$$\sum M_C = 0:$$

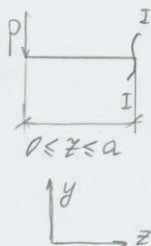
$$-A_H \cdot 2a + p \cdot 3a - A_V \cdot 2a + M_A = 0$$

$$2ap + 3ap - 2ap - 3pa = 0$$

$$\underline{\underline{0 = 0}}$$

2.

Сечение I-I, пов. тачка:



$$N_z = 0$$

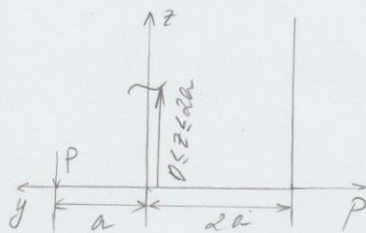
$$Q_y = -p = -20$$

$$M_x = -p \cdot z$$

$$M(0) = 0$$

$$M(a) = -20 \cdot 2 = -40$$

Сечение II-II, снизу:



$$N_z^{\text{II}} = P = 20$$

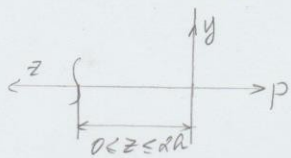
$$Q_y^{\text{II}} = -P = -20$$

$$M_x^{\text{II}} = -P \cdot a - P \cdot z$$

$$M(0) = -40$$

$$M(2a) = -40 - 20 \cdot 4 = -120$$

Сечение III-III, справа:

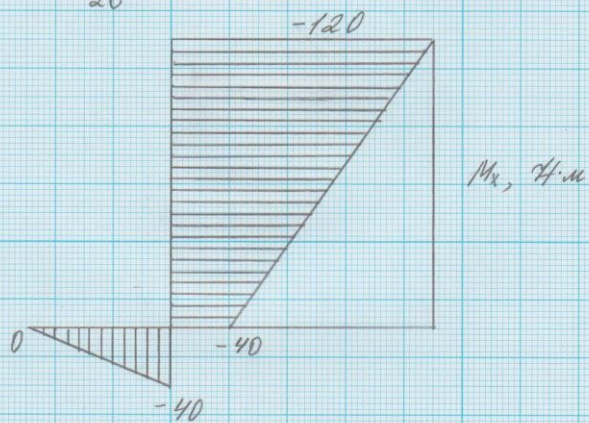
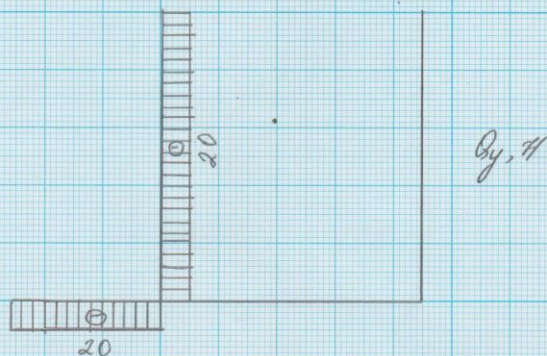
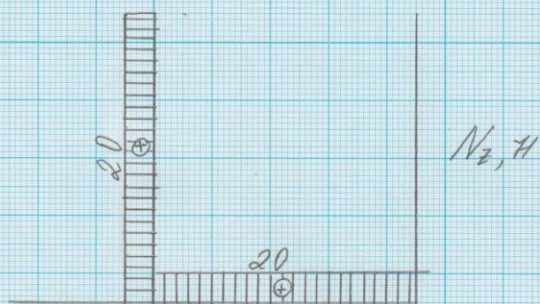
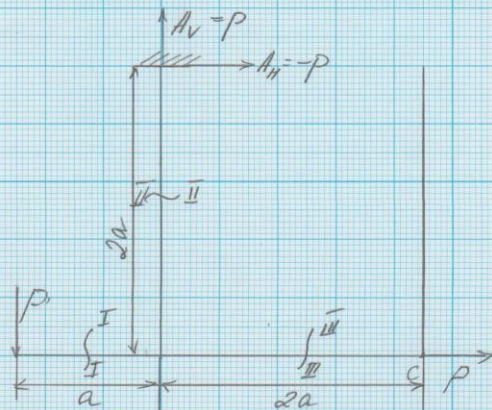


$$N_z^{\text{III}} = P = 20$$

$$Q_y^{\text{III}} = 0$$

$$M_x^{\text{III}} = 0$$

Рисунок к задаче №3



Задача №4 Вариант №7. Рыбенкова А.А.
 Для заданной системы сил, находящейся под
 воздействием нагрузок P, Q и т.п. определить:
 1. Используя уравнений статики, определить
 опорные реакции.
 2. Построить эпюры внутренних силовых факторов

Данные:

$$P = 20 \text{ кН}; l_1 = 0,4 \text{ м}; l_2 = 1,2 \text{ м}; k_1 = 2,5; k_2 = 0,5$$

Построение эпюр внутренних силовых факторов

Сечение I-I: $0 \leq z \leq l_1$

$$N_z^I = 0$$

$$Q_x^I = 0$$

$$Q_y^I = k_2 P = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ кН}$$

$$M_x^I = -k_2 P \cdot z \quad \text{при } z=0: M_x^I = 0$$

$$\text{при } z=l_1: M_x^I = -0,5 \cdot 20 \cdot 0,4 = -4 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^I = 0$$

$$N_z^I = 0$$

Сечение II-II: $0 \leq z \leq l_2$

$$N_z^{II} = 0$$

$$Q_x^{II} = k_1 P = 50 \text{ кН}$$

$$Q_y^{II} = k_2 P = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ кН}$$

$$M_x^{II} = -k_2 P \cdot z \quad \text{при } z=0: M_x^{II} = 0$$

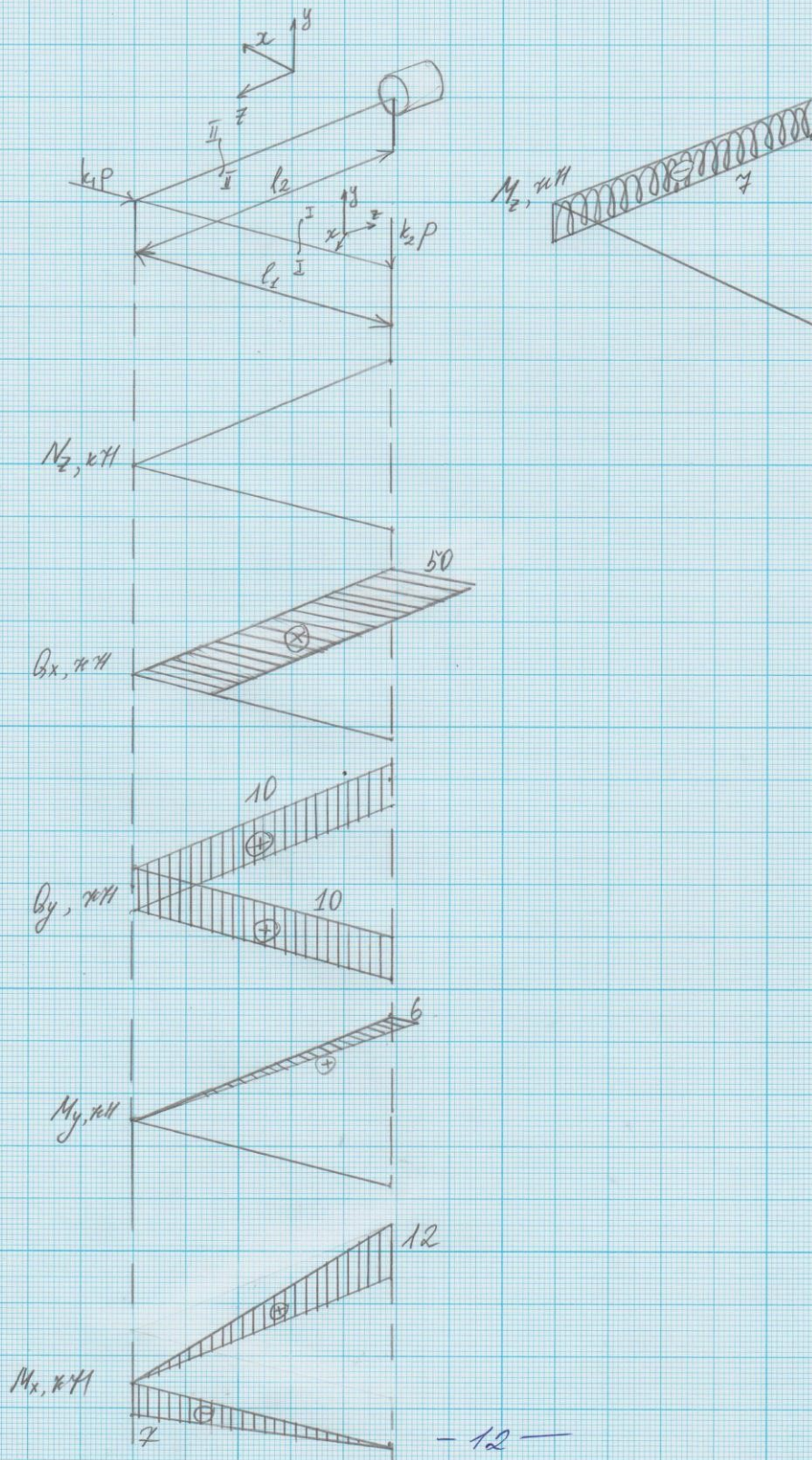
$$\text{при } z=l_2: M_x^{II} = -0,5 \cdot 20 \cdot 1,2 = -12 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (-z)$$

$$M_y^{II} = -k_1 P \cdot z \quad \text{при } z=0: M_y^{II} = 0$$

$$\text{при } z=l_2: M_y^{II} = -2,5 \cdot 20 \cdot 1,2 = -60 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_z^{II} = -k_2 P l_1 = -0,5 \cdot 20 \cdot 0,4 = -4 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

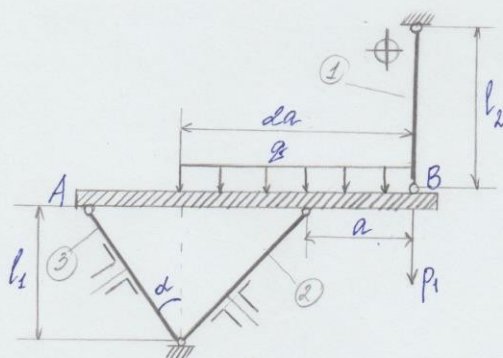
Рисунок к задаче №4



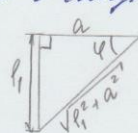
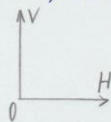
Задача №5 Вариант №8. Разбикова А.А.

Определить из расчёта на прочность площади поперечных сечений стержней и удовлетворяют по размерам ГОСТ размеры сечений, указать коэффициенты ударов на чертёж. Вычислить в процентах недогрузку (перегрузку) каждого из стержней. Материал стержней — сталь марки Ст. 3, $[σ] = 160 \text{ МПа}$

Данные: $P_1 = 350 \text{ кН}$; $q = 60 \text{ кН/м}^2$; $a = 2,8 \text{ м}$; $l_1 = 2,4 \text{ м}$; $\alpha = 30^\circ$
 $l_2 = 2,5 \text{ м}$



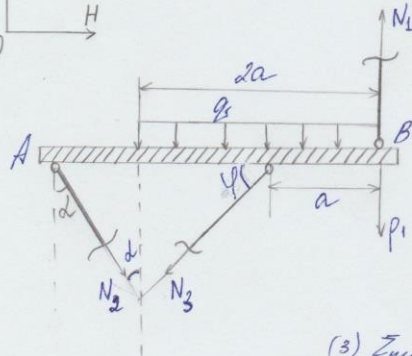
1. Определить продольные силы в стержнях:



$$\sin \varphi = \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + a^2}}$$

$$\cos \varphi = \frac{a}{\sqrt{l_1^2 + a^2}} = \frac{2,8}{3,7} = 0,7567$$

$$\varphi = 41^\circ$$



$$\sum V = 0:$$

$$(1) -2aq + N_1 - N_2 \cos \alpha - N_3 \sin \varphi - P_1 = 0$$

$$(2) \sum H = 0:$$

$$N_2 \sin \alpha - N_3 \cos \varphi = 0$$

$$N_3 = \frac{N_2 \sin \alpha}{\cos \varphi}$$

$$(3) \sum M_{\text{сеч. B}} = 0:$$

$$2qa^2 + N_2 \cos \alpha (2a + l_1 \sin \alpha) + N_3 \sin \varphi \cdot a = 0$$

$$-940,8 = N_2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,8 + N_2 \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \varphi} \cdot \sin \varphi \cdot a$$

$$-940,8 = N_2 \cdot 7,2$$

$$N_{22} = -131$$

$$N_{32} = \frac{-131}{2 \cdot 0,75} = -87$$

из 11):

$$336 + N_1 + 131 \cos \alpha + 87 \sin \alpha - 350 = 0$$

$$N_1 = 336 - 113 - 57 + 350 = 516$$

2. Расчёт на прочность:

1. сферическое - круглое сечение

$$F_1 \geq \frac{N_{21}}{[\sigma]}, \text{ где } F_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$$

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4 N_{21}}{\pi [\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 516}{3,14 \cdot 160000}} = 0,06409 \text{ м} = 64,09 \text{ см}^2$$

по ГОСТу: $d_1 = 65 \text{ мм}$ — $F_1 = \frac{3,14 \cdot (65)^2}{4} = 3316,62 \text{ мм}^2 = 33,1662 \text{ см}^2$

2 сферическое - два равнополочных уголка

$$\frac{N_{22}}{F_2} \leq [\sigma], F_2 \geq \frac{N_{22}}{[\sigma]} = \frac{131}{160000} = 0,000818 = 8,18 \text{ см}^2, F_{yc} = \frac{8,18}{2} = 4,09$$

по ГОСТу: $4,5/45/5 - F = 4,29 \text{ см}^2$

3 сферическое - два равнополочных уголка

$$\frac{N_{23}}{F_3} \leq [\sigma], F_3 \geq \frac{N_{23}}{[\sigma]} = \frac{87}{160000} = 0,00054375 = 5,43 \text{ см}^2$$

$$F_{y2} = \frac{F_3}{2} = \frac{5,43}{2} = 2,715$$

по ГОСТу: $5/50/3 - F = 2,96$

3. Вычислим в % нагрузку или перенагрузку в сферических:

$$1) \sigma_1' = \frac{516}{33,1662} \cdot 10 = 155,58 \text{ МПа} \quad \eta_1 = \frac{160 - 155,58}{160} \cdot 100\% = 2,76\% \quad \text{недогрузка}$$

$$2) \sigma_2' = \frac{131}{2 \cdot 0,000429} = 152680,65 \quad \eta_2 = \frac{160000 - 152680,65}{160000} \cdot 100\% = 4,57\% \quad \text{недогрузка}$$

$$3) \sigma_3' = \frac{87}{2 \cdot 0,000296} = 146959,45 \quad \eta_3 = \frac{160000 - 146959,45}{160000} \cdot 100\% = 8,1503\% \quad \text{недогрузка}$$

Задача №6 Вариант №7. Рядикова А.А.

1. Определить из расчета стержней на прочность допускаемое значение силы P , приложенной к брусу АВ. Материал стержней — сталь марки Ст.3, напряжение текучести $\sigma_T = 240 \text{ МПа}$, нормативный коэффициент запаса прочности $[n] = 1,5$. Брус АВ считать недеформируемым.
2. Определить усилия и напряжения в стержнях, если вычисленной на схеме стержней нагрузке на ΔT . Принять модуль Юнга $E = 200 \text{ ГПа}$, температурный коэффициент расширения материала $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

3. Вычислить в процентах недогрузку (перегрузку) стержней, обусловленную применением температурного режима.

Данные:

$$\begin{array}{lll} \sigma_T = 240 \text{ МПа} & k_1 = 3 & a = 0,9 \text{ м} \\ [n] = 1,5 & k_2 = 2 & F = 6 \text{ см}^2 \\ E = 200 \text{ ГПа} & \Delta T = 20^\circ\text{C} & \\ \alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} & l_1 = 2 \text{ м} & \end{array}$$

1. Определение допускаемой нагрузки:

1. Задана статическая неопределенность ($n=1$)
2. Раскроем статическую неопределенность

$$\sum V = 0:$$

$$N_{12} + N_{22} - 2P + P = 0 \quad (1)$$

Диаграмма усилий:

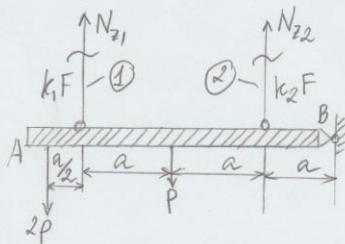
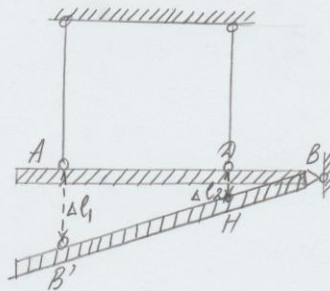


Диаграмма перемещений:



$$\frac{AB}{A'B} = \frac{\Delta l_1}{\Delta l_2} \quad \text{или} \quad \frac{3a}{a} = \frac{\Delta l_1}{\Delta l_2}$$

$$\Delta l_1 = 3\Delta l_2$$

$$\frac{N_2 \cdot l_1}{E \cdot k_1 F} = \frac{N_2 \cdot l_1 \cdot 3}{E \cdot k_2 F}$$

$$N_2 = \frac{3 \cdot N_2 \cdot k_1}{k_2}$$

из (1):

$$\frac{3N_2 \cdot k_1}{k_2} + N_2 - 3p = 0$$

$$3p = N_2 \left(\frac{3k_1}{k_2} + 1 \right)$$

$$3p = N_2 \cdot 5,5$$

$$N_2 = 0,54p \Rightarrow N_2 = \frac{3 \cdot 0,54p \cdot 3}{2} = 2,43p$$

3. Вычислим напряжение в стержнях:

$$\sigma_j = \frac{N_j}{F_j}$$

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{k_1 F} = \frac{2,43p}{3 \cdot 6 \cdot 10^{-4}} = 1350p$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{k_2 F} = \frac{0,54p}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-4}} = 450p$$

4. Проверим на прочность:

Тепловые прочисленди — $|\sigma_{\max}| \leq [\sigma]$

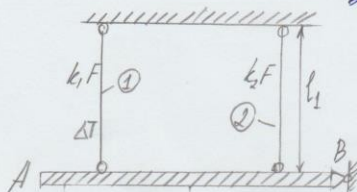
$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{n} = \frac{240}{1,5} = 160 \text{ МПа}$$

$$[p] \leq \frac{160 \cdot 10^6}{1350} = 118,518 \text{ кН}$$

II. Температурное воздействие

1'. Задача статически неопределима ($n=1$)

2'. Раскроем статическую неопределимость

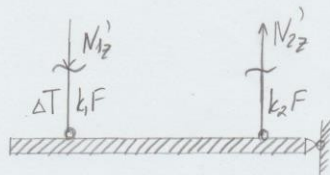


2.1' Диаграмма усилий:

$$\Sigma V = 0$$

$$-N_{1z}' + N_{2z}' = 0$$

$$N_{1z}' = N_{2z}'$$



2.2' Диаграмма перемещений:

$$\Delta A'BA \sim \Delta C'BC$$

$$\frac{\Delta l_1^T}{\Delta l_2} = \frac{3a}{a}$$

$$\Delta T \cdot l_1 - \frac{N_{1z}' \cdot l_1}{E \cdot k_1 F} = \frac{3 \cdot N_{2z}' \cdot l_1}{E \cdot k_2 F}$$

$$\Delta T \cdot l_1 = \frac{3 N_{2z}' \cdot l_1}{E \cdot k_2 F} + \frac{N_{1z}' \cdot l_1}{E \cdot k_1 F}$$

$$\Delta T l_1 = N_{2z}' \left(\frac{3 k_1 l_1 + k_2 l_1}{E k_1 k_2 F} \right)$$

$$\Delta T l_1 \cdot E k_1 k_2 F = N_{2z}' (3 k_1 l_1 + k_2 l_1)$$

$$N_{1z}' = N_{2z}' = \frac{\Delta T l_1 E k_1 k_2 F}{3 k_1 l_1 + k_2 l_1} = 15,709 \text{ кН}$$

3) Вычислим напряжения в стержнях:

$$\sigma_1^{\Delta T} = \frac{N_{1z}'}{k_1 F} = \frac{15,709 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 6 \cdot 10^{-4}} = 8,727 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2^{\Delta T} = \frac{N_{2z}'}{k_2 F} = \frac{15,709 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-4}} = 13,09 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2^{[P]} = \frac{0,54 \cdot 118,518 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 6 \cdot 10^{-4}} = 53,33 \text{ МПа}$$

$$\sigma_1^{[P]} = \frac{2,43 \cdot 118,518 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 6 \cdot 10^{-4}} = 160 \text{ МПа}$$

III. Оценим прочность с учетом изгибаемого деформационного режима

$$\Sigma \sigma_1' = \sigma_1^{[P]} - \sigma_1^{\Delta T} = 160 - 8,727 = 151,273 \text{ МПа}$$

$$\Sigma \sigma_2' = \sigma_2^{[P]} + \sigma_2^{\Delta T} = 53,33 + 13,09 = 66,42 \text{ МПа}$$

Оценка прочности:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma], \sigma_{\max} = \Sigma \sigma_1'$$

$$151,273 \leq 160$$

$$\eta = \frac{[\sigma] - \Sigma \sigma_1'}{[\sigma]} \cdot 100\%$$

$$\eta_1 = \frac{160 - 151,273}{160} \cdot 100\% = 5,45\% ; \eta_2 = \frac{160 - 66,42}{160} = 58,48\%$$

Рисунок к задаче №6

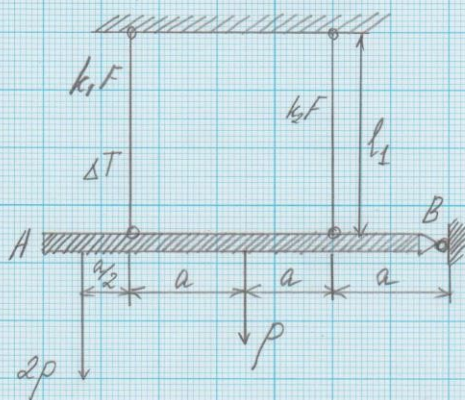


Диаграмма усилий:

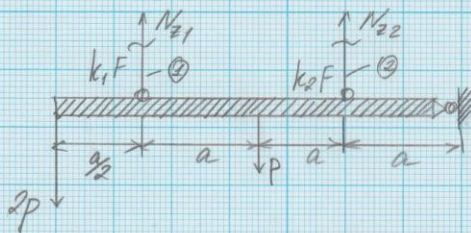


Диаграмма усилий:

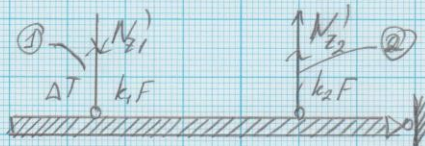


Диаграмма перемещений:

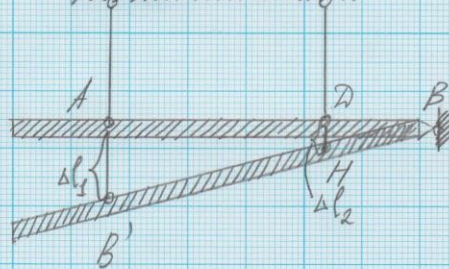
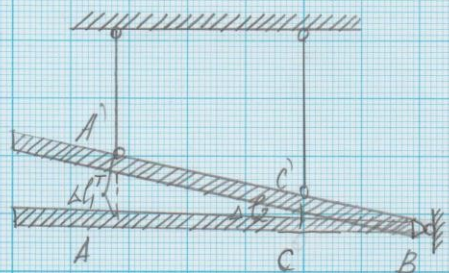


Диаграмма перемещений:



Задача №7 Вариант №7. Рядников А.А.

1. Определить максимальные напряжения после сборки системы. Материал — сталь, $E = 200 \text{ ГПа}$
2. Определить суммарные напряжения и сделать вывод о прочности системы.

Принять предельное напряжение $\sigma_{пред} = 240 \text{ МПа}$

Данные:

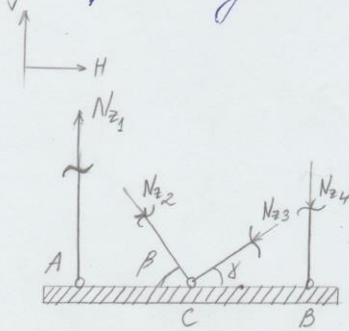
$$F = 40 \text{ см}^2 \quad a = 0,75 \text{ м} \quad k = 1,25 \quad \sigma_{пред} = 240 \text{ МПа}$$

$$b = 0,05 \text{ м} \quad l = 2 \text{ м} \quad E = 200 \text{ ГПа}$$

$$\angle \beta = \arctg(\frac{b}{a}) = 69,44^\circ; \quad \angle \delta = \arctg(\frac{0,5b}{a}) = 53,13^\circ$$

1. Определить максимальные напряжения
- 1.1. Задача статически неопределима ($n=1$)
2. Уравнения статики:

Диаграмма усилий:



$$(1) \sum \vec{V} = 0: N_{12} - N_{42} - N_{23} \cdot \sin \beta - N_{32} \cdot \sin \delta = 0$$

$$(2) \sum H = 0: N_{23} \cos \beta - N_{32} \cos \delta = 0$$

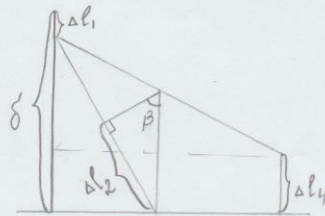
$$N_{32} = N_{23} \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \delta}$$

$$(3) \sum m_{AC} = 0: -N_{12} \cdot a - N_{42} \cdot a = 0$$

$$N_{42} = -N_{12}$$

$$\text{из (1): } N_{23} = \frac{2N_{12} \cdot \cos \delta}{\sin(\beta + \delta)}$$

Диаграмма перемещений:



- 2.1. Уравнения совместности деформаций

$$\frac{\delta - \Delta l_1 - \Delta l_4}{2a} = \frac{\frac{\Delta l_2}{\sin \beta} - \Delta l_4}{a}$$

$$\Delta l_2 = \frac{N_{23} \cdot l}{E \cdot kF}, \quad \Delta l_1 = \frac{N_{12} \cdot l}{E \cdot kF},$$

$$\Delta l_4 = \frac{N_{42} \cdot l \cdot 0,5}{EF}$$

$$\frac{N_{12}}{1,25 \cdot \sin^2 \beta} - N_{42} + \frac{N_{42}}{2} + \frac{N_{12}}{1,25 \cdot 2} = \frac{\delta EF}{2l}$$

$$N_{42} = \frac{\delta EF}{2l(-0,9 - \frac{0,6}{1,1 \cdot 0,84})} = -64,53 \text{ кН} \Rightarrow N_{12} = 64,53 \text{ кН}$$

$$N_2 = \frac{2 \cdot 64,53 \cdot \cos \delta}{\sin(\beta + \delta)} = 91,88 \text{ кН}$$

$$N_3 = 91,88 \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \delta} = 53,78 \text{ кН}$$

9.

$$n = \frac{\sigma_{пред}}{|\sigma_{max}|}$$

$$\sigma_1 = \frac{N_2}{k \cdot F} = \frac{64,53 \cdot 10}{1,25 \cdot 0,004} = 129 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{-N_2}{kF} = \frac{-91,88 \cdot 10}{1,25 \cdot 0,004} = -183,7 \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{-N_3}{F} = \frac{-53,78 \cdot 10}{0,004} = -134,4 \text{ МПа}$$

$$\sigma_4 = \frac{-N_4}{F} = \frac{-64,53 \cdot 10}{0,004} = -161,32 \text{ МПа}$$

$$|\sigma_{max}| = 161,32 \text{ МПа} \quad |\sigma_{max}| < |\sigma_{пред}| \Rightarrow \text{условие прочности соблюдается}$$

$$n = \frac{240}{161,32} = 1,4877$$

Рисунок к задаче № 7

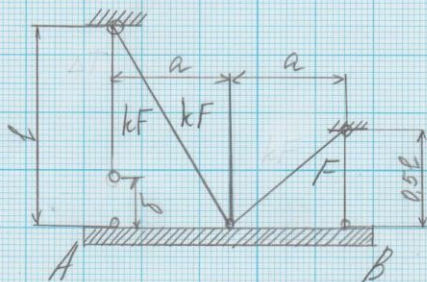


Диаграмма усилий:

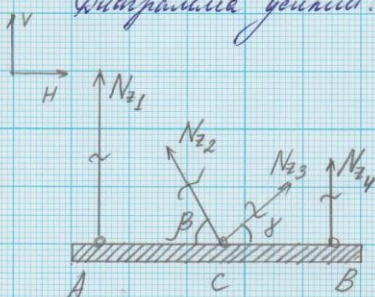
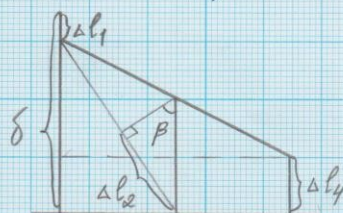


Диаграмма перемещений



Задача №8

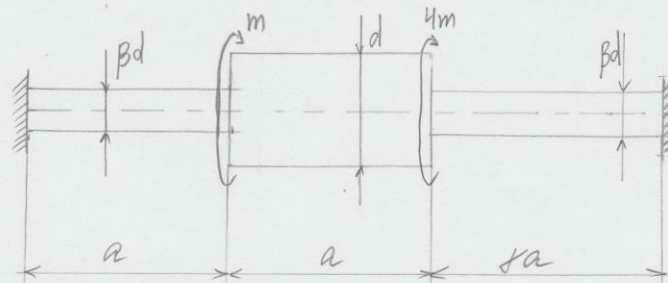
Рябенкова А.А. 9/7-06-18

Для заданного симметричного сферического крутового поперечного сечения требуется:

1. Построить эпюры крутящих моментов M_z , максимальных касательных напряжений τ , относительных углов закручивания θ по длине сферического.
2. Из расчёта на прочность и жесткость определить допускаемое значение m .
3. Построить эпюры углов закручивания по длине сферического.
4. Построить эпюры касательных напряжений τ для опасного сечения.

Дано: $\beta = 80 \text{ ГПа}$, $[\tau] = 100 \text{ МПа}$

Еще: $d = 220 \text{ мм}$; $a = 1,0 \text{ м}$; $\gamma = 1,5$; $\beta = 0,82$; $\theta = 0,035 \text{ рад/м}$



Составляю статически неопределима:

$$\sum M = 0: M_A - m - 4m - M_B = 0$$

Запишем ур-ие совместности деформаций:

$$\varphi_B = 0 \quad \frac{M_z^I}{\beta \cdot J_p^I} \cdot l^I + \frac{M_z^{II}}{\beta \cdot J_p^{II}} \cdot l^{II} + \frac{M_z^{III}}{\beta \cdot J_p^{III}} \cdot l^{III}$$

$$J_p^I = \frac{\pi (d^4)^I}{32} = 0,452 \frac{\pi d^4}{32} = 103,89 \cdot 10^{-6} = J_p^{III}$$

$$J_p^{II} = \frac{\pi d^4}{32} = 229,86 \cdot 10^{-6}$$

Определим крутящие моменты:

$$\left. \begin{aligned} M_z^I &= -x \\ M_z^{II} &= -4m - x \\ M_z^{III} &= -4m - m - x \end{aligned} \right\} \frac{-x \cdot 82}{0,452 \frac{\pi d^4}{32}} + \frac{(-4m - x) \cdot 2}{\beta \cdot \frac{\pi d^4}{32}} + \frac{(-5m - x)}{0,452 \frac{\pi d^4}{32}} = 0$$

Упрямим:

$$-1,5x - 1,808m - 0,452m - 5m - x = 0$$

$$-2,952x = 5,808m$$

$$x = -2,306m$$

Определим внутренний шквовой фактор:

$$M_z^I = -M_B = 2,306m$$

$$M_z^{II} = -4m - M_B = -1,694m$$

$$M_z^{III} = -M_B - 5m = -2,694m$$

Вычислим поперечный момент инерции J_p :

$$J_p^I = J_p^{III} = \frac{\pi (0,82 \cdot 0,22)^4}{32} = 1,039 \cdot 10^{-4} m^4$$

$$J_p^{II} = \frac{\pi (0,22)^4}{32} = 2,298 \cdot 10^{-4} m^4$$

Вычислим поперечный момент сопротивления:

$$W_p^I = \frac{\pi (0,22)^3}{16} = 11,521 \cdot 10^{-4} = W_p^{III}$$

$$W_p^{II} = \frac{\pi (0,22)^3}{16} = 20,896 \cdot 10^{-4}$$

Расчёт на прочность:

Условие прочности: $\tau_{max} \leq [\tau]$

$$\tau^I = \frac{M_z^I}{W_p^I} = \frac{2,306m \cdot 10^3}{11,521 \cdot 10^{-4}} = 2,001 m \text{ МПа}$$

$$\tau^{II} = \frac{M_z^{II}}{W_p^{II}} = \frac{-1,694m \cdot 10^3}{20,896 \cdot 10^{-4}} = -0,8106 m \text{ МПа}$$

$$\tau^{III} = \frac{M_z^{III}}{W_p^{III}} = \frac{-2,694m \cdot 10^3}{11,521 \cdot 10^{-4}} = -2,338 m \text{ МПа}$$

$$2,001m \leq 100 \text{ МПа}$$

$$[\tau]_{np} \leq \frac{100}{2,001} = 49,975 \text{ кПа} \cdot m$$

Расчёт на жёсткость:

$$\theta^I = \frac{M_z^I}{B \cdot J_p^I} = \frac{2,306m \cdot 10^3}{80 \cdot 10^3 \cdot 1,0389 \cdot 10^{-4}} = 2,774m \cdot 10^{-4} \text{ рад/м}$$

$$\theta^{\text{II}} = \frac{M_Z^{\text{II}}}{B \cdot J_p^{\text{II}}} = \frac{-1,694 \text{ м} \cdot 10^3}{80 \cdot 10^9 \cdot 2,298 \cdot 10^{-4}} = -9,214 \text{ м} \cdot 10^{-5} \text{ рад/м}$$

$$\theta^{\text{III}} = \frac{M_Z^{\text{III}}}{B \cdot J_p^{\text{III}}} = \frac{-2,694 \text{ м} \cdot 10^3}{80 \cdot 10^9 \cdot 1,0389 \cdot 10^{-4}} = -3,241 \text{ м} \cdot 10^{-4} \text{ рад/м}$$

$$2,774 \text{ м} \cdot 10^{-4} \leq [\theta] = 0,035 \text{ рад/м}$$

$$[m]_{\text{med}} \leq \frac{0,035}{2,774 \cdot 10^{-4}} = 126,171 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Допуст. моменты по расчету на прочность приняты:

$$m/m_{\Sigma m} = 49,975 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad m = 49,975 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Надвин уны закручивания φ :

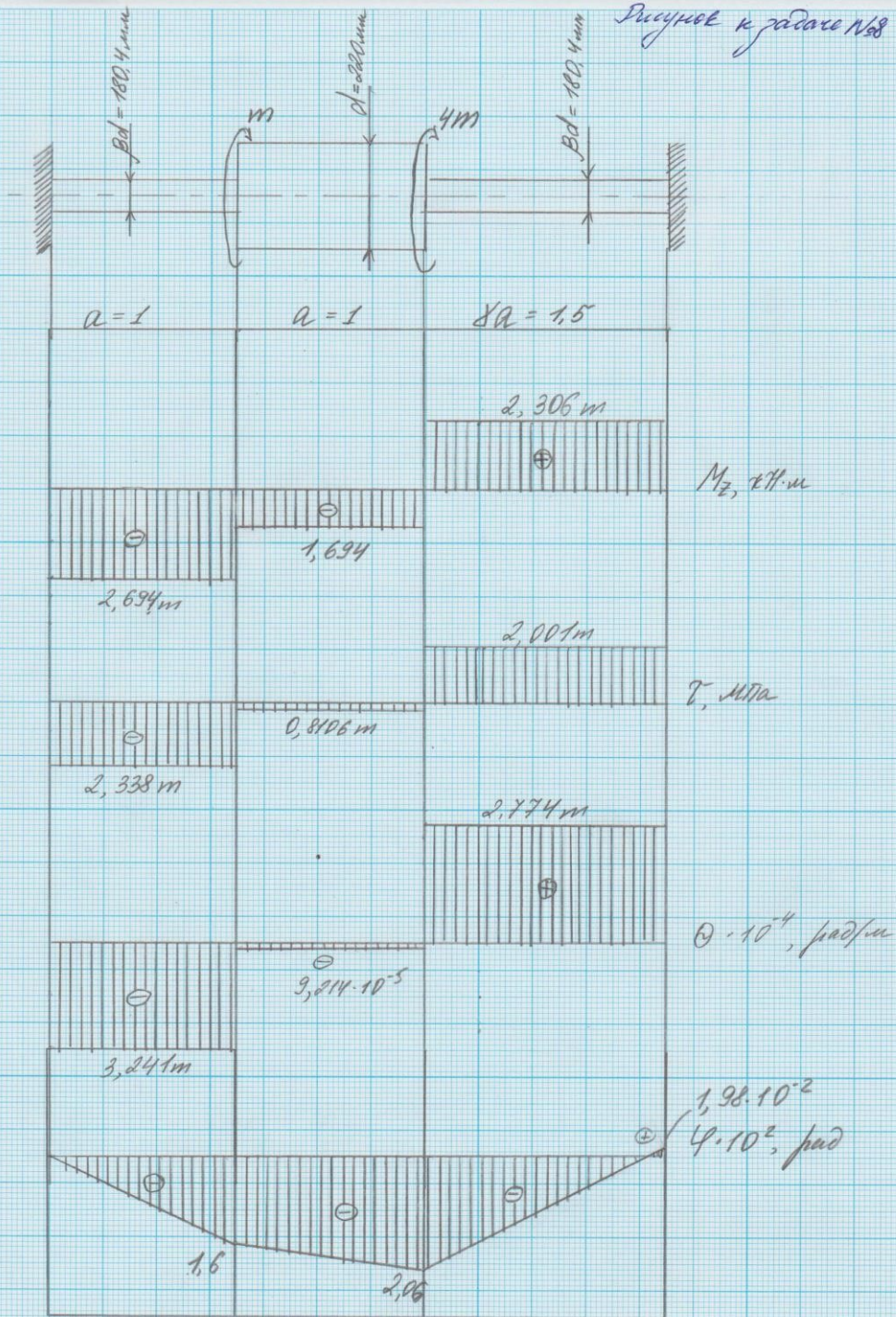
$$\varphi_{0-0} = 0$$

$$\varphi_{1-1} = \varphi_{0-0} + \frac{M_Z^{\text{III}} \cdot a}{B \cdot J_p^{\text{III}}} = \frac{49,975 \cdot (-2,694) \cdot 10^3 \cdot 1}{80 \cdot 10^9 \cdot 1,0389 \cdot 10^{-4}} = -0,016 \text{ рад.}$$

$$\varphi_{2-2} = \varphi_{1-1} + \frac{M_Z^{\text{II}} \cdot a}{B \cdot J_p^{\text{II}}} = -0,016 + \frac{-1,694 \cdot 49,975 \cdot 1 \cdot 10^3}{80 \cdot 10^9 \cdot 2,298 \cdot 10^{-4}} = -0,0208 \text{ рад}$$

$$\varphi_{3-3} = \varphi_{2-2} + \frac{M_Z^{\text{I}} \cdot 8a}{B \cdot J_p^{\text{I}}} = -0,0208 + \frac{2,206 \cdot 49,975 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1,5}{80 \cdot 10^9 \cdot 1,0389 \cdot 10^{-4}} = 1,98 \cdot 10^{-4}$$

Рисунок к задаче №8

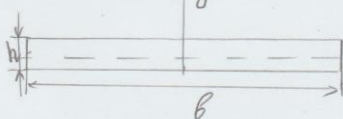


Задача №9 ВарНЗ Рибникова А.А. 911+06-18

1. Для заданного поперечного сечения определить положение центра тяжести и вычислить главные центральные моменты инерции.
2. Используя схему и решение задачи №1, выбрать рациональные с точки зрения прочности размеры поперечного сечения и определить фактический коэф. запаса прочности. Принять $\sigma_T = 240 \text{ МПа}$. Если имеет место перегрузка, указать, во сколько раз величина будет уменьшена нагрузка, действующая на балку, с тем, чтобы соблюдалось условие прочности $\sigma < [\sigma]$. Принять нормативный коэф. запаса прочности $[\sigma] = 1,6$.
3. С помощью инверсии Максвелла - Мора и др. по известным опред. линейные или угловые перемещения в выбранном сечении.

1. Разбиваем сечение на основные части и показываем их геометрические размеры.

Прямоугольник:



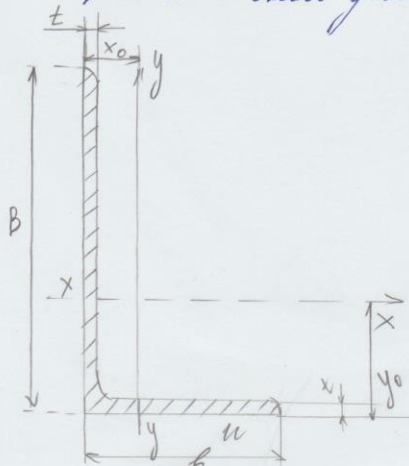
$$h = 2 \cdot 6,5 + \frac{50}{10} = 18 \text{ см}$$

$$b = 1 \text{ см}$$

$$J_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = 1,5 \text{ см}^4$$

$$F = b \cdot h = 18 \text{ см}^2 \quad J_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = 486 \text{ см}^4$$

Не равнобедренный уголок №10



$$h = 10 \text{ см}$$

$$B = 6,5 \text{ см}$$

$$J_x = 195,52 \text{ см}^4$$

$$J_y = 51,68 \text{ см}^4$$

$$x_0 = 1,64 \text{ см}$$

$$y_0 = 3,37 \text{ см}$$

$$F = 15,68 \text{ см}^2$$

2) Определим положение центра тяжести сечения.

П.к. центр тяжести лежит на всех симметриях, координаты x_c и $y_c = 0$.

3) Определим главные центральные моменты инерции:

$$J_x = J_x^I + J_x^{II} + J_x^{III} + J_x^{IV} + J_x^V$$

$$J_x^I = 155,52 + 15,67 \cdot (3,87)^2 = 390,2 \text{ см}^4$$

$$J_x^{II} = 155,52 + 15,67 \cdot (3,87)^2 = 390,2 \text{ см}^4$$

$$J_x^{III} = 155,52 + 15,67 \cdot (3,87)^2 = 390,2 \text{ см}^4$$

$$J_x^{IV} = 155,52 + 15,67 \cdot (3,87)^2 = 390,2 \text{ см}^4$$

$$J_x^V = 1,5 + 18 \cdot 0^2 = 1,5 \text{ см}^4$$

$$J_x = 390,2 \cdot 4 + 1,5 = 1562,332 \text{ см}^4$$

$$J_y = J_y^I + J_y^{II} + J_y^{III} + J_y^{IV} + J_y^V$$

$$J_y^I = 51,68 + 15,67 \cdot (-4,14)^2 = 320,257 \text{ см}^4$$

$$J_y^{II} = 51,68 + 15,67 \cdot (4,14)^2 = 320,257 \text{ см}^4$$

$$J_y^{III} = 51,68 + 15,67 \cdot (-4,14)^2 = 320,257 \text{ см}^4$$

$$J_y^{IV} = 51,68 + 15,67 \cdot (4,14)^2 = 320,257 \text{ см}^4$$

$$J_y^V = 486 + 18 \cdot 0^2 = 486 \text{ см}^4$$

$$J_y = 1267,0301 \text{ см}^4$$

4) Расчёт на прочность

Условие прочности: $\max \sigma \leq [\sigma]$, где $\max \sigma = \frac{|\max M_x|}{W_x}$

Для исходного расположения сечения:

$$W_x^{\text{исх}} = \frac{J_x}{y_{\max}}; y_{\max} = 0,5 + 10 = 10,5 \text{ см}$$

$$W_x^{\text{исх}} = \frac{1,5623 \cdot 10^3}{10,5} = 148,7935 \text{ см}^3$$

$$W_y^{кex} = \frac{J_y}{x_{max}}; \quad x_{max} = 0,5 \cdot 18 = 9 \text{ см}$$

$$W_y^{кex} = \frac{1,767 \cdot 10^3}{9} = 196,3367 \text{ см}^3$$

Для повернутого сечения:

$W_y^{кex} > W_x^{кex}$ рациональнее будет повернутое на 90° сечение

$$W_x^{нов} = W_y^{нов} = 196,3367 \text{ см}^3$$

$$J_x' = J_y' = 1,767 \cdot 10^3 \text{ см}^4$$

Нормальное напряжение:

$$\sigma = \frac{M_x}{J_x} \cdot y$$

$$n = \frac{\sigma_z}{\max \sigma}, \quad \text{где } \max \sigma = \frac{|\max M_x|}{W_x} = \frac{296,33 \cdot 10^3}{196,337 \cdot 10^{-6}} = 1509 \cdot 10^9 \text{ Па} = 1509 \text{ МПа}$$

$$n = \frac{240}{1509} = 0,159$$

Вывод: $n = 0,159 < [n] = 1,6, \Rightarrow$ условие прочности не выполняется

Чтобы выполнялось условие прочности, необходимо:

а) уменьшить нагрузку

б) выбрать конструкцию большей площади

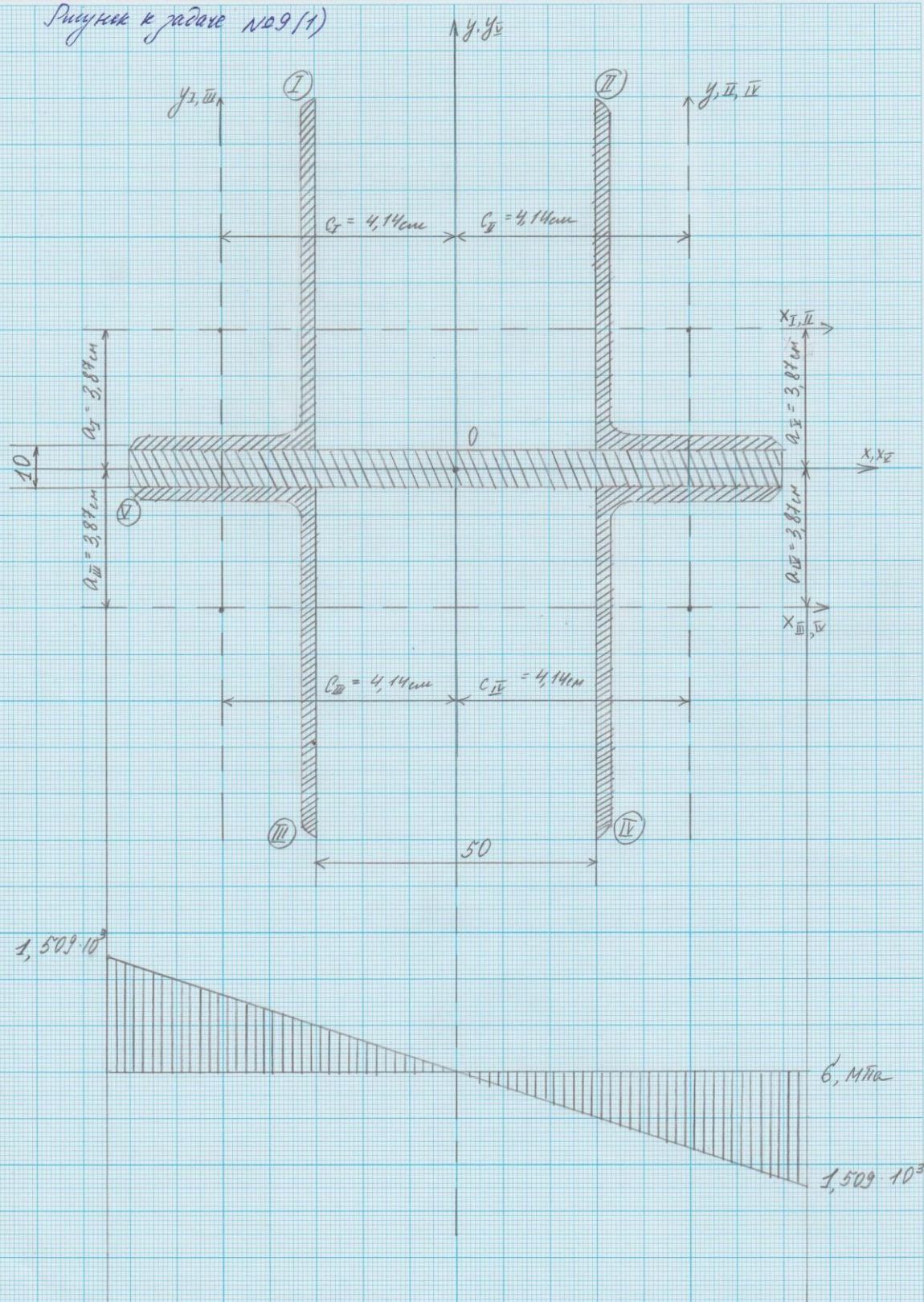
в) определение перемещений:

Вычислим линейное перемещение в точке с по формуле Максвелла-Мора

$$\Delta = \int_0^l \frac{M_x M_0}{E J_x} dz$$

$$\begin{aligned}
y_C &= \frac{1}{EJ_x} \left\{ \frac{2}{6} \left(4 \cdot \frac{2}{3} \cdot 126,583 + \frac{4}{3} \cdot 218,167 \right) + \frac{2}{6} \left(\frac{4}{3} \cdot 218,167 + 4 \cdot 1 \cdot 204,75 + 156,33 \right) \right. \\
&\quad \cdot \frac{2}{3} \dots + \frac{2}{12} \left(296,33 \cdot \frac{2}{3} + 4 \cdot 259 \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \cdot 212,917 \right) + \\
&\quad \left. + \frac{(3-2)}{6} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 212,917 + 4 \cdot 162,4585 \cdot \frac{1}{6} \right) \right\} = \frac{775,1517}{E \cdot J_x} = \\
&= \frac{7,752 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^{11} \cdot 1,767 \cdot 10^{-5}} = 0,219 \text{ m} = 219 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Рисунок к задаче №9/1)



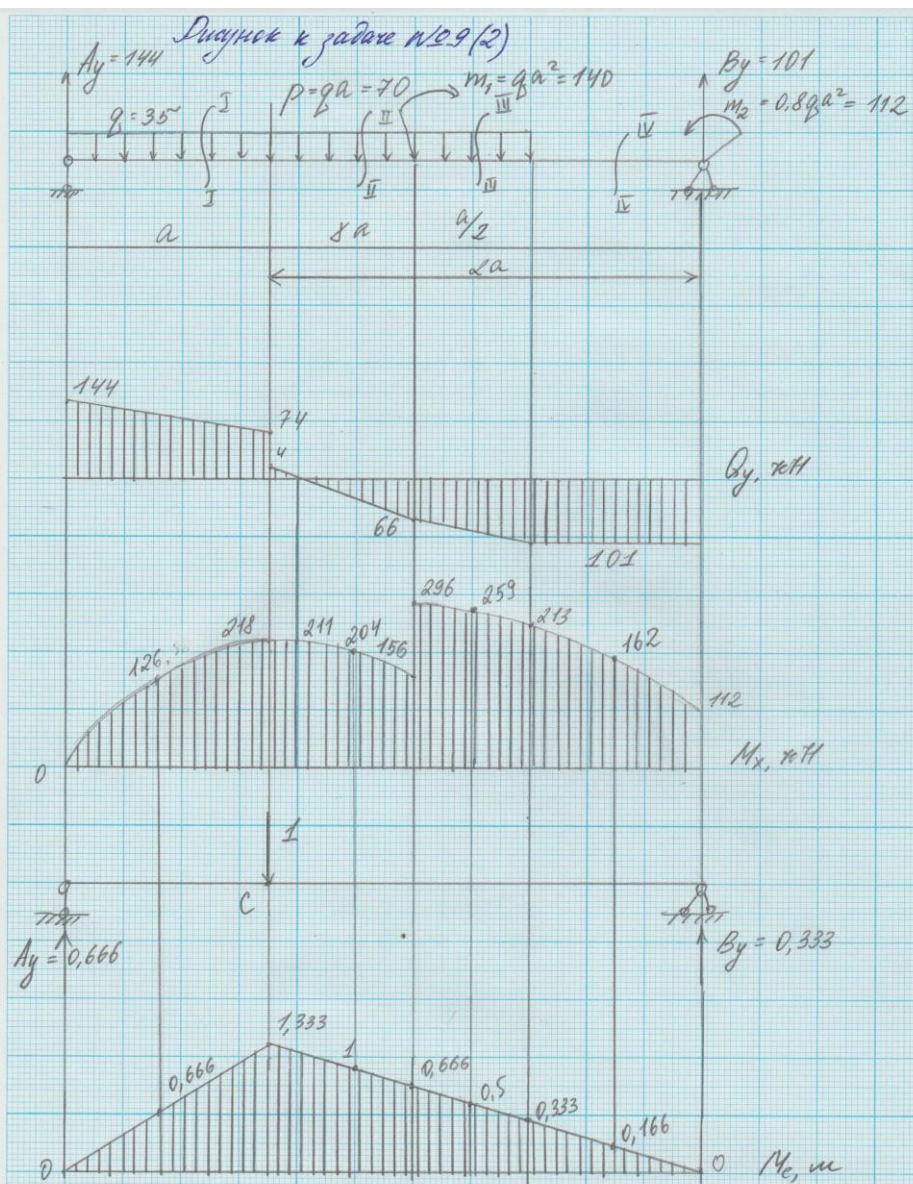
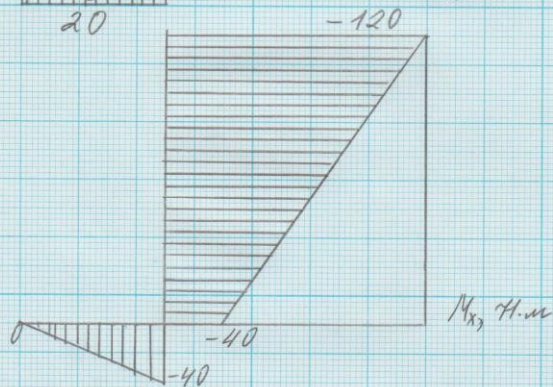
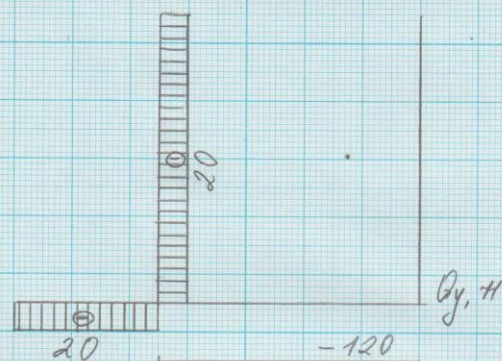
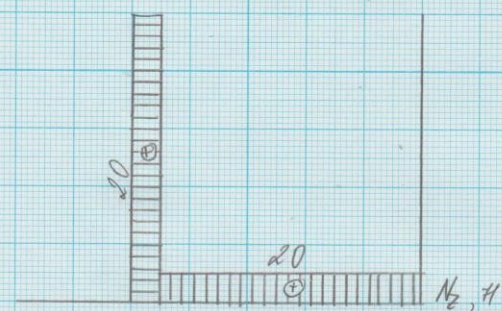
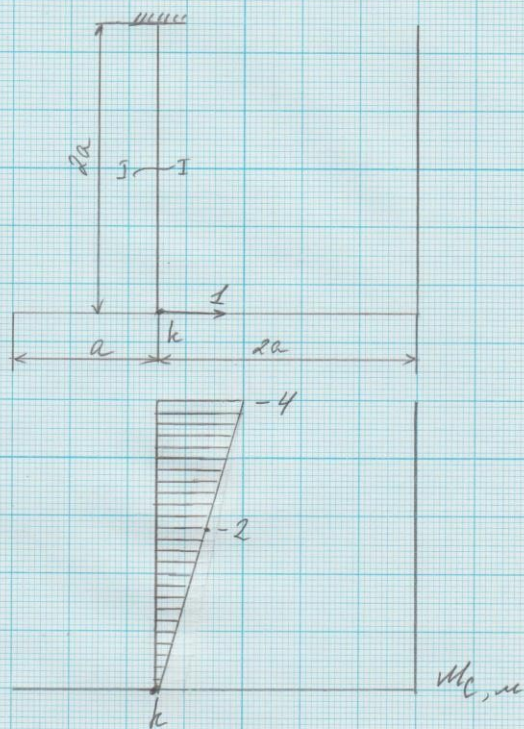
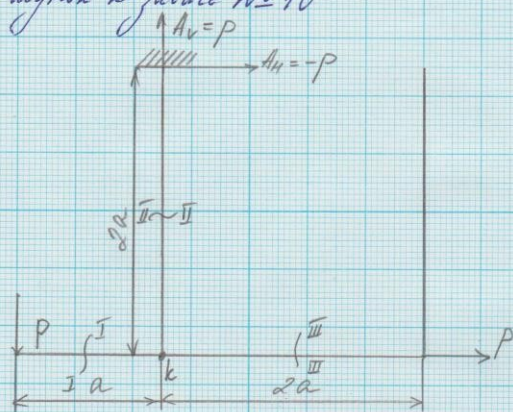


Рисунок к задаче № 10



Задача №11 Вариант №7 Рыбникова А.А. ФП-06-18

Сферическая шестерня нагружена преобразовательной силой ил.

1. Построить эпюры продольной силы N_z , изгибающих моментов M_x и M_y через параметр внешней силы P .
2. Для опасного сечения построить эпюры нормальных напряжений.
3. Записать уравнение нейтральной линии. Построить нейтральную линию и эпюры нормальных напряжений.
4. Определить допускаемое значение силы P .

Дано: Вспомог. 30.

$$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

$$\alpha = 0,5; \quad l = 3 \text{ м}; \quad c = 0,2; \quad k = 2$$

- ① Построение эпюр внутренних силовых факторов.
Спроектируем шестерню на плоскость yoz .

$$\sum Z = 0: -P + B_z = 0 \quad B_z = P$$

$$\sum \text{мом} A_x = 0: B_y \cdot 3 - P \cdot 0,6 = 0, \text{ Н}; \quad B_y = 0,2P, \text{ Н}$$

$$\sum \text{мом} B_x = 0: -P \cdot 0,6 + A_y \cdot 3 = 0, \text{ Н}; \quad A_y = 0,2P, \text{ Н}$$

$$\text{Проверка } \sum Y = 0: -A_y + B_y = 0$$

Сек. I-I

$$0 \leq z \leq l/2: M_x^I = -0,2P \cdot z \quad M_x(0) = 0$$

$$M_x(1,5) = -0,3P$$

(Рис. 2)

Сек. II-II.

$$l/2 \leq z \leq l \quad M_x^{II} = 0,2P \cdot z \quad M_x(1,5) = 0,3P$$

$$M_x(3) = 0$$

Спроектируем шестерню на плоскость xOz .

$$\sum Z = 0: -P + B_z = 0; \quad B_z = P, \text{ Н}$$

(Рис. 3)

$$\sum \text{мом} A_y = 0: -B_x \cdot 3 + kP \cdot 1,5 = 0, \text{ Н}; \quad B_x = \frac{2 \cdot 65P}{3} = P$$

$$\sum \text{мом} B_y = 0: -kP \cdot 1,5 + A_x \cdot 3 = 0, \text{ Н}; \quad A_x = P$$

$$\text{Проверка: } \sum Y = 0: A_x + B_x - kP = 0$$

$$2P - 2P = 0$$

2) Проверение эпюры нормальных напряжений σ для опасного сечения.

Напряжения от изгибающих моментов:

$$\sigma_{M_x} = -\frac{M_x}{J_x} \cdot y; \quad \sigma_{M_y} = -\frac{M_y}{J_y} \cdot x.$$

Опасное сечение:

Равностор. 30

$$W_x = 472 \text{ см}^3 \quad W_y = 49,9$$

$$J_x = 8080 \text{ см}^4 \quad J_y = 337 \text{ см}^4$$

$$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{0,3p}{472 \cdot 10^{-6}} + \frac{1,5p}{49,9 \cdot 10^{-6}} =$$

$$= 0,635p \cdot 10^9 + 30,060p \cdot 10^9 = 30,695p \cdot 10^9 \text{ Па} \quad (\text{Рис. 5})$$

3) Проверение нейтральной линии и суммарной эпюры норм. напряжений для опасного сечения

$$-\frac{M_x}{J_x} \cdot y - \frac{M_y}{J_y} \cdot x = 0 \quad \text{или} \quad y = -\frac{M_y}{M_x} \cdot \frac{J_x}{J_y} \cdot x$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{J_x}{J_y} \cdot \frac{M_y}{M_x} = \frac{8080}{337} \cdot \frac{1,5p}{0,3p} = 26,0089 \Rightarrow \alpha = 87^\circ \quad (\text{Рис. 4})$$

4) Расчет на прочность

Условие прочности:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]$$

$$p \leq \frac{160}{30,695}, \quad p \leq 5,212 \cdot 10^3$$

$$[p] = 5,212 \text{ кН}$$

Решение 1-й задачи (1)

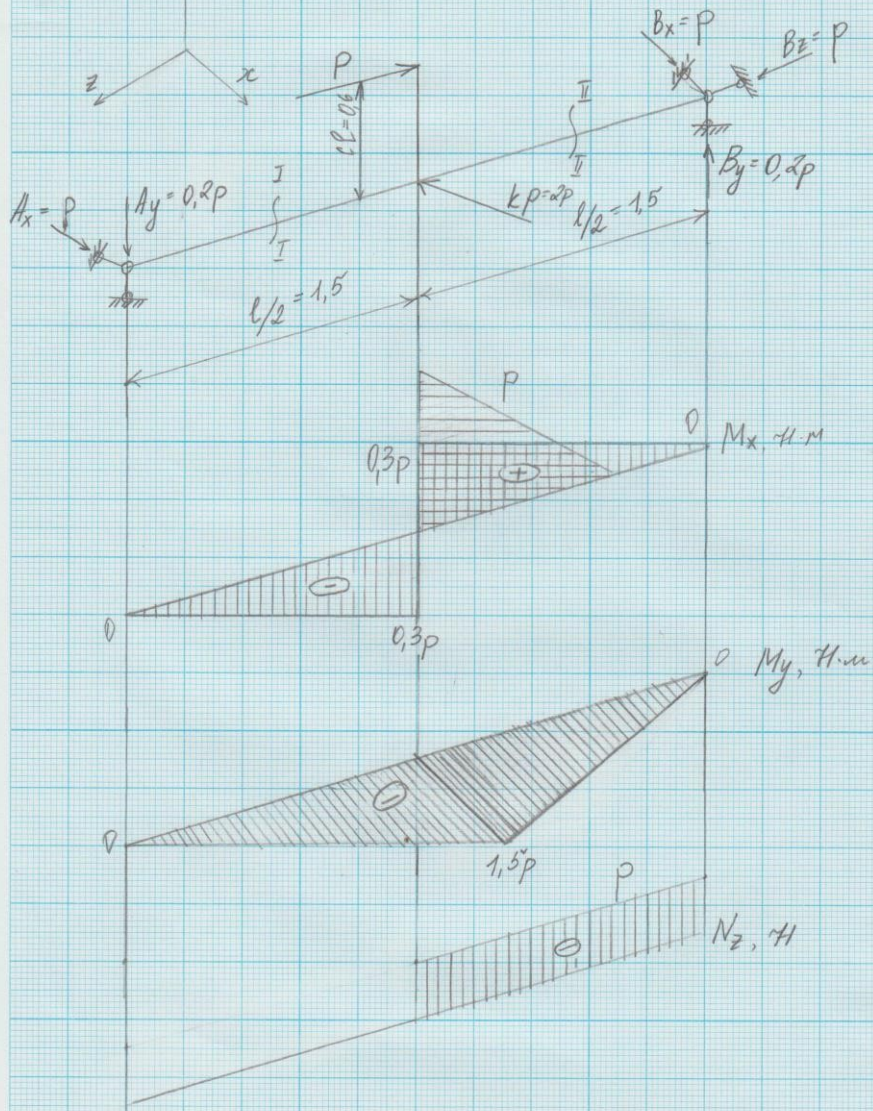


Рисунок к 11 задаче (2)

Рис. 2

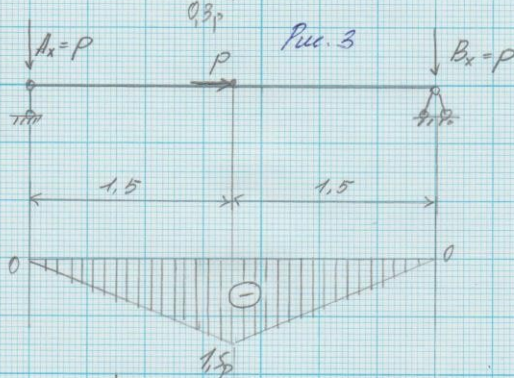
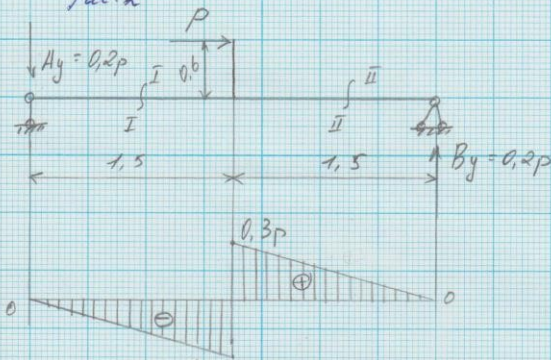


Рис. 3

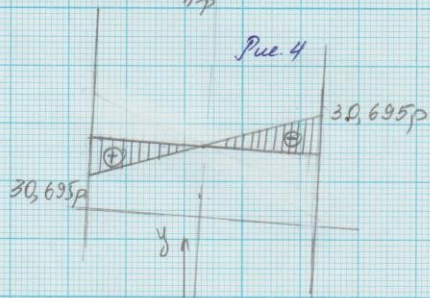


Рис. 4

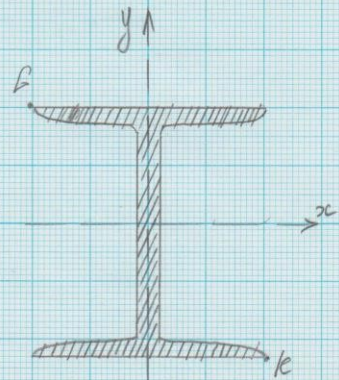
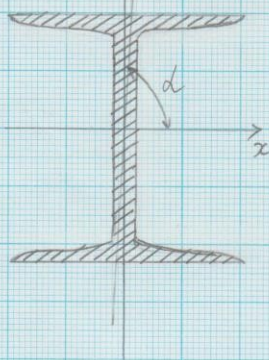
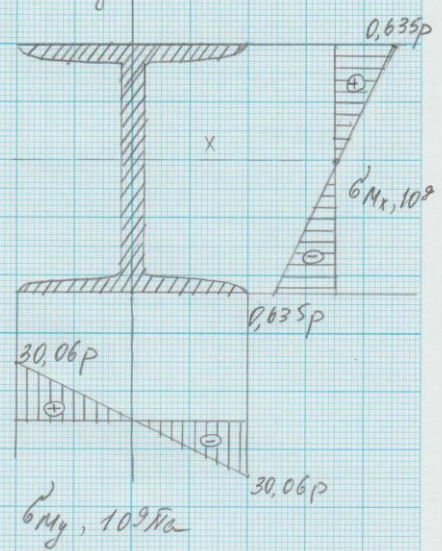


Рис. 5



Задача № 12

Для угасивка трубопровода, приведенного на схеме задачи № 4, определить допускаемое значение диаметра поперечного сечений. Выполнить проверку критерием прочности Сен-Венана. Принять $[\sigma] = 200 \text{ МПа}$, $\epsilon = \frac{d_0}{d} = 0,8$

Решение:

$$I_x = I_y$$

$$M_{изг} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

$$\text{Главное напряжение: } \sigma_{\max} \leq [\sigma], \text{ где } \sigma_{\max} = \frac{\max M_{изг}}{W_{изг}} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{W_{изг}}$$

Сечение I-I:

$$\sigma_{\max}^I = \frac{\sqrt{7^2 + 0}}{\frac{\pi d^3}{32} (1 - \epsilon^4)} = \frac{7000}{0,057933 \cdot d^3} = \frac{120,829 \cdot 10^3}{d^3} \text{ Па}$$

Сечение II-II:

$$\sigma_{\max}^{II} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}}{\frac{\pi d^3}{32} (1 - 0,8^4)} = \frac{15,1327}{57,933 d^3 \cdot 10^3} = \frac{261,21}{d^3} \cdot 10^3 \text{ Па}$$

т.к. $\sigma_{\max}^{II} > \sigma_{\max}^I \Rightarrow$ сечение II-II более опасно.

$$[\sigma] \geq \sigma_{\max}^{II}$$

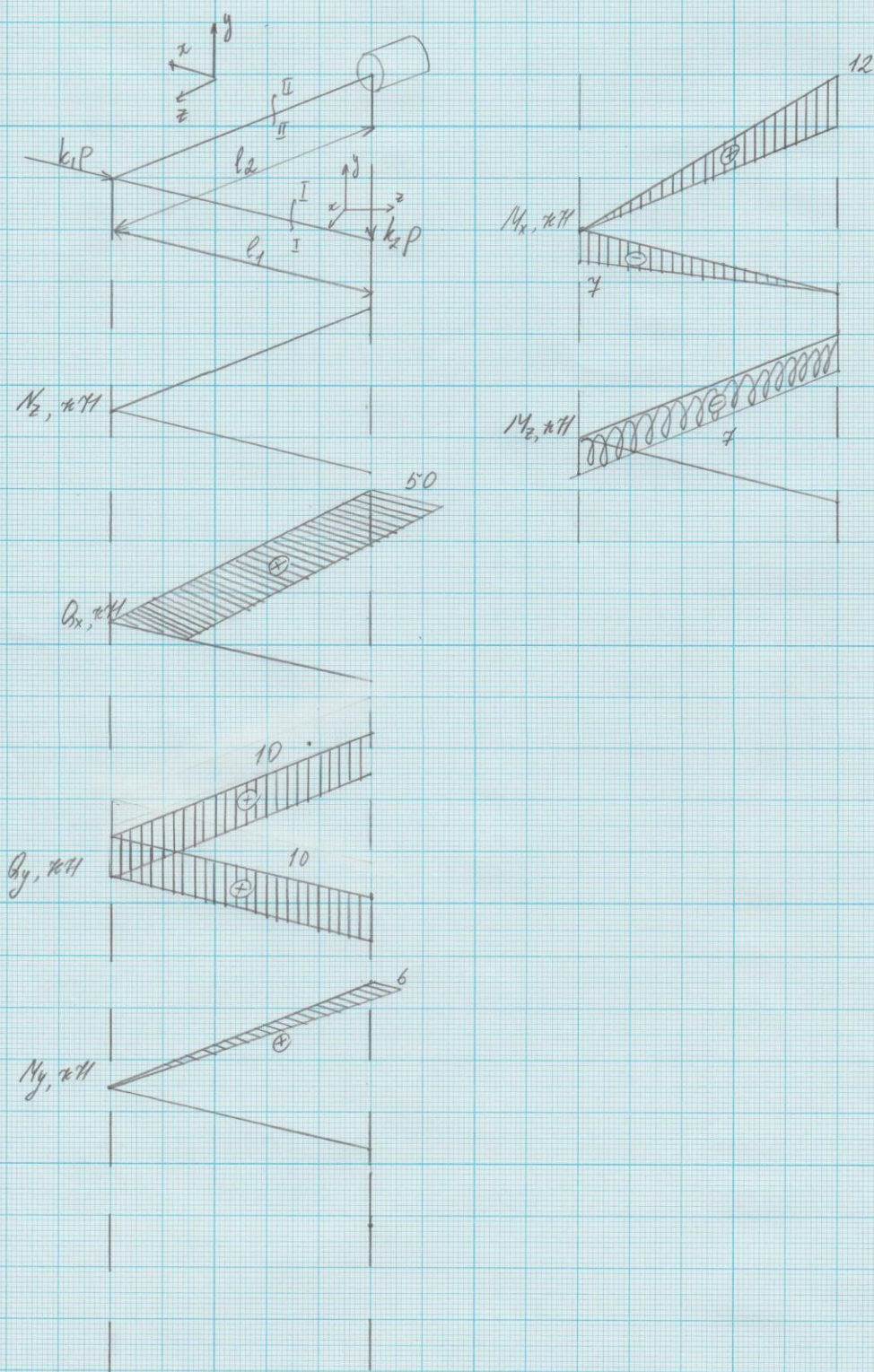
$$200 \cdot 10^6 \geq \frac{261,21 \cdot 10^3}{d^3}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{261,21 \cdot 10^3}{200 \cdot 10^6}}; d \geq 0,109 \text{ м}$$

Принимаем

$$[d] = 109 \text{ мм}$$

Рисунок к задаче №12



Задача №13

Для шестерчатого на схеме промежуточного вала редуктора требуется:

1. Определить приложенные к валу нагрузки и составить расчетную схему нагружения вала.
2. Выбрать из ряда шестерящих и крутящего моментов
3. Задать нормативный коэффициент запаса прочности из интервала $[n] = 3 \div 6$, величина которого кратно учитываемой циклической изменению нормальных напряжений при вращении вала. По заданному критерию прочности рассчитать диаметр вала.

Дано: $N = 12 \text{ кВт}$; $n = 250 \text{ об/мин}$;
 Сила марки: 40; $\sigma_T = 340 \text{ МПа}$;
 $\delta = 1,4$; $a = 1,4 \text{ м}$; $D_1 = 0,3 \text{ м}$; $D_2 = 0,3 \text{ м}$

Определим нар-ры сил:

Угловая скорость вращения вала: $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{250\pi}{30} = 26,166 \text{ рад/сек}$

Передаваемый крутящий момент:

$$M_{кр} = \frac{N}{\omega} = \frac{12 \cdot 10^3}{26,166} = 458,61 \text{ Н·м}$$

Определим усилия, действ. на диски

Окружные усилия:

$$F_1 \cdot \frac{D_1}{2} = M_{кр} \Rightarrow F_1 = \frac{2 \cdot M_{кр}}{D_1} = \frac{2 \cdot 458,61}{0,3} = 3,057 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$F_1 = F_2, \text{ т.к. } D_1 = D_2.$$

Рассмотрим плоскость yOz :

$$\sum_{\text{поп}} A = 0: -B_y(2\delta a + a) + F_2 \cdot a = 0$$

$$B_y = \frac{F_2 \cdot a}{2\delta a + a} = 0,804 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$\sum_{\text{поп}} B = 0: -A_y(2\delta a + a) + F_2(2a + 2\delta a) = 0$$

$$A_y = \frac{F_2(2a + 2\delta a)}{(2\delta a + a)} = 3,861 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$\text{Проверка: } \sum_y = 0: -F_2 + A_y - B_y = 0$$

$$-3,057 \cdot 10^3 + 3,861 \cdot 10^3 - 0,804 \cdot 10^3 = 0$$

Рассмотрим плоскость xOz :

$$\sum_{\text{поп}} A = 0:$$

$$F_1 + a + B_x(2\delta a + a) = 0; B_x = \frac{-F_1 \cdot a}{2\delta a + a} = -0,804 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$\sum m_{\text{ш}} B = 0 :$$

$$-A_x (28a + a) - p_1 \cdot 28a = 0$$

$$A_x = - \frac{p_1 \cdot 28a}{(28a + a)} = -2,253 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

$$\text{Проверка: } \sum X = 0: A_x + B_x + p_1 = 0$$

$$-2,253 \cdot 10^3 - 0,804 \cdot 10^3 + 3,057 \cdot 10^3 = 0$$

② Выберем эпюры M_x, M_y, M_z

Сечение I-I: $0 \leq z \leq a$

$$M_x^I = -p_2 \cdot z \quad M_x(0) = 0$$

$$M_x(1,4) = -4,28 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_y^I = 0$$

$$M_z^I = 3,057 \text{ кН}$$

Сечение II-II: $a \leq z \leq 2a$

$$M_x^{II} = A_y(z-a) - p_2 \cdot z \quad M_x^{II}(1,4) = -4,28 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_x^{II}(2,8) = -3,154 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_y^{II} = A_x \cdot (z-a)$$

$$M_y^{II}(1,4) = 0$$

$$M_y^{II}(2,8) = -3,154 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_z^{II} = 3,057 \text{ кН}$$

Сечение III-III: $2a \leq z \leq (28a + 2a)$

$$M_x^{III} = -B_y(6,42 - z) \quad M_x^{III}(2,8) = -3,154 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_x^{III}(6,42) = 0$$

$$M_y^{III} = B_x(6,42 - z) \quad M_y^{III}(2,8) = -3,154 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_y^{III}(6,42) = 0$$

$$M_z^{III} = 0$$

③ Расчет на прочность по критерию Мизеса:

$$M_{yz}^I = \sqrt{0 + 4,28^2} = 4,28 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

$$M_{yz}^{II} = \sqrt{3,154^2 + 3,154^2} = 4,46 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

Опасное сечение II.

$$\sigma_{\text{экв}}^{II} = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + 0,75 M_z^2}}{W_{\text{изг}}} \leq [\sigma]$$

$$W_{\text{изг}} = \frac{\pi d^3}{32} = 0,098 d^3$$

Принимаем $[n] = 5$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{[n]} = \frac{340}{5} = 68 \text{ МПа}$$

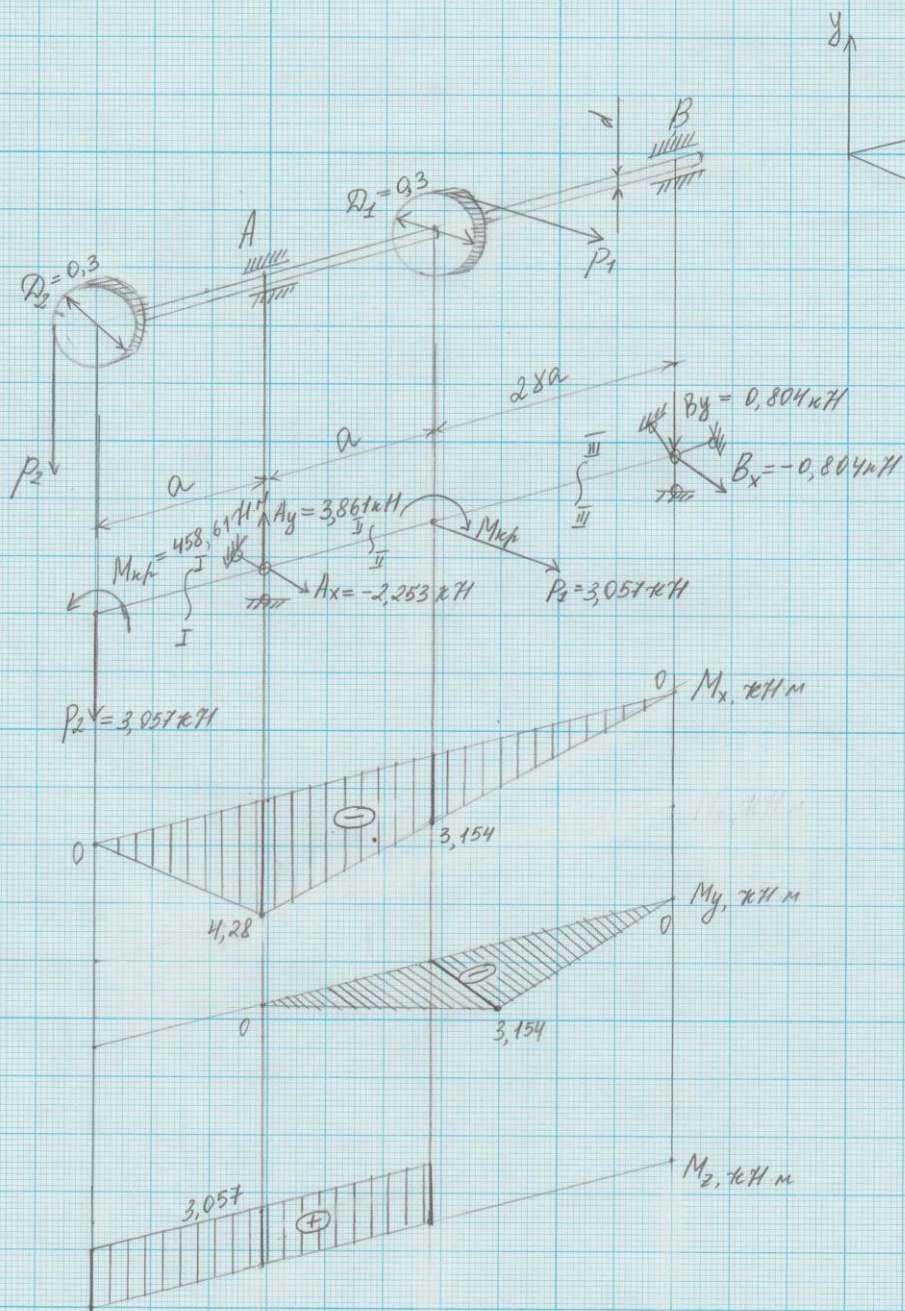
$$M_{\text{изг}} = \sqrt{3,154^2 + 3,154^2 + 0,75 \cdot (3,054)^2} = 5,186 \text{ кН·м} = 5,186 \text{ Н·м}$$

$$\frac{5186}{0,098 d^3} \leq 68 \cdot 10^6$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{5186}{0,098 \cdot 68 \cdot 10^6}}; d \geq 27,869 \cdot 10^{-3}$$

Принимаем расчет. диаметр вала $[d] = 30 \text{ мм}$

Схема 13 задан



Задача №15

Плоский резервуар с толщиной стенок h находится под давлением жидкости плотностью ρ и давлением газа p_0 .

1. Используя безразмерную теорию для оболочек вращения, определить значения меридиональных и окружных напряжений.

2. Представить элемент, вырезанный в опасной точке. По заданной кривизне прочности определить толщину стенки резервуара.

3. Сопоставить результаты расчета с расчетом по спец. формулам ГОСТ 1429-89 "Болты и анкера. Нормы и методы расчета на прочность".

$$a) \text{ для цилиндра: } h = \frac{p \cdot R}{\phi \cdot [\sigma] - 0,5p} + c \approx \frac{p \cdot D}{2[\sigma] - p} \approx \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]}$$

$$b) \text{ для конуса: } h = \frac{p \cdot R}{(\phi \cdot [\sigma] - 0,5p) \cdot \cos \alpha} + c \approx \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \cos \alpha}$$

$$в) \text{ для сферы: } h = \frac{p \cdot R}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5p} + c \approx \frac{p \cdot D}{4 \cdot [\sigma]}$$

Дано: $p_0 = 0,3 \text{ МПа}$; $\rho = 0,90 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

$E = 220 \text{ ГПа}$; $[\sigma] = 90 \text{ МПа}$; $a = 1 \text{ м}$; $b = 3 \text{ м}$

$2R = 3 \text{ м}$; $z_0 = 4 \text{ м}$

$R = 3/2 = 1,5 \text{ м}$

Кривизны прочности: мизер

1. Напряжение эфир меридиональных и окружных напряжений по безразмерной теории:

Резервуар по высоте можно разбить на 4 участка.

Рассмотрим I участок (цилиндрическая часть резервуара), где $0 \leq z \leq z_0$.

Уравнение Лапласа:

$$\frac{\sigma_m}{R_m} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} = \frac{p}{h} \quad ; \quad \sigma_\theta = \frac{p \cdot R_\theta}{h} \quad ; \quad p = p_0 + \rho g(z_0 - z)$$

$R_\theta = R$

$$\sigma_\theta = \frac{(p_0 + \rho g(z_0 - z)) \cdot R}{h}$$

$$\sigma_\theta(0) = \frac{(0,3 \cdot 10^6 + 0,9 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 4) \cdot 1,5}{h} = \frac{0,5029}{h} \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\sigma'_\theta(4) = \frac{(0,3 \cdot 10^6 + 0,9 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0) \cdot 1,5}{h} = \frac{0,45}{h} \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$Z_z = 0: \sigma'_m \cdot 2\pi R h - p \cdot \pi R^2 - G_1 = 0$$

$$\sigma'_m = \frac{G_1 + p \cdot \pi R^2}{2\pi R h}; \text{ где } G_1 = \rho g \cdot \pi R^2 \cdot z$$

$$\sigma'_m(0) = \frac{0 + (0,3 \cdot 10^6 + 0,9 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 4) \cdot 3,14 \cdot (1,5)^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot h} = \frac{0,251}{h} \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\sigma'_m(4) = \frac{0,9 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 3,14 \cdot (1,5)^2 \cdot 4 + (0,3 \cdot 10^6 + 0,9 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 0) \cdot 3,14 \cdot (1,5)^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot h} = \frac{0,251}{h} \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Задача II (цилиндрич. часть с разом)

$$p = p_0 = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Уравнение Лапласа:

$$\sigma'_\theta = \frac{p_0 \cdot R}{h} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 1,5}{h} = \frac{0,45 \cdot 10^6}{h} \text{ Па}$$

$$Z_z = 0: \sigma'_m \cdot 2\pi R h - p_0 \cdot \pi R^2 - G_2 = 0$$

$$\sigma'_m = \frac{G_2 + p_0 \pi R^2}{2\pi R h}; \text{ где } G_2 = \rho g \cdot \pi R^2 \cdot R$$

$$\sigma'_m = \frac{0,9 \cdot 10^3 \cdot 9,81 \cdot 3,14 \cdot (1,5)^3 + 0,3 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot (1,5)^2}{2 \cdot 1,5 \cdot 3,14 \cdot h} = \frac{0,235 \cdot 10^6}{h} \text{ Па}$$

Задача III (цилиндрич. часть с разом выше сферического колпака)

$$p = p_0 = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\sigma'_\theta = \frac{p_0 \cdot R}{h} = \frac{0,45 \cdot 10^6}{h} \text{ Па}$$

$$\sigma'_m \cdot 2\pi R h - p_0 \cdot \pi R^2 = 0 \Rightarrow \sigma'_m = \frac{p_0 \cdot R}{2h} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 1,5}{2 \cdot h} = \frac{0,225}{h} \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Задача IV (сферическая оболочка)

$$\sigma'_\theta = \sigma'_m = \frac{p_0 \cdot R}{2h} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 1,5}{2 \cdot h} = \frac{0,225}{h} \cdot 10^6 \text{ Па}$$

2) Покажем элемент, вырезанный в опасной точке и по заданному критерию прочностим определим величину стенки резервуара

критерий Мизеса (опасный участок I)

Условие прочности: $\sigma_{\max} \leq [\sigma]$

$$\sigma_{\text{жв}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_2 - \sigma_1 \sigma_3 - \sigma_2 \sigma_3}$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{0,5029}{h} \cdot 10^6, \quad \sigma_3 = \sigma_m = \frac{0,251}{h} \cdot 10^6, \quad \sigma_3 = 0$$

$$\sigma_{\text{жв}} = \frac{\sqrt{(0,5029)^2 + (0,251)^2 - (0,251 \cdot 0,5029)}}{h} = \frac{0,435}{h} \text{ МПа}$$

$$\frac{0,435}{h} \leq 90 \text{ МПа}$$

$$h \geq \frac{0,435}{90} = 4,833 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

3) Сопоставим результаты расчета с расчетом по соосей-
ствующим формулам ГОСТ 142-89 "Сосуды и аппараты,
Нормы и методы расчета на прочность".

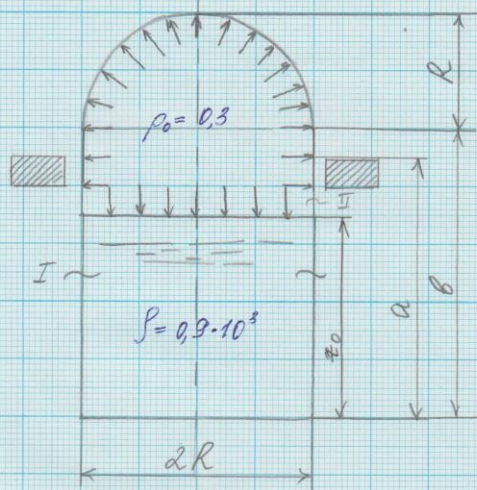
Формула для цилиндра:

$$h' = \frac{p \cdot R}{\varphi \cdot [\sigma] - 0,5p} + C \approx \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] - p} \approx \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} = \frac{p \cdot 2R}{2 \cdot [\sigma]}$$

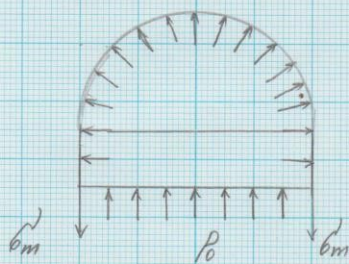
$$p = p_0 + 59 \cdot z_0 = 0,335316$$

$$h' = \frac{0,335316 \cdot 3}{2 \cdot 90} = 5,0886 \cdot 10^{-3}$$

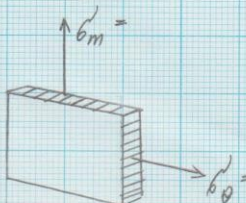
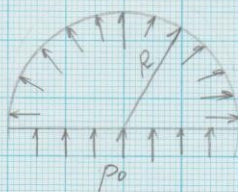
Из двух значений h в качестве допускаемого принимается
большее, т.е. $[h] = 5,0886 \text{ мм}$



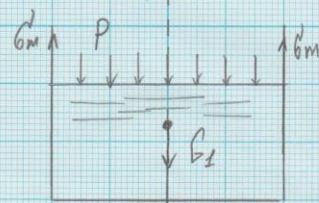
Насосок III



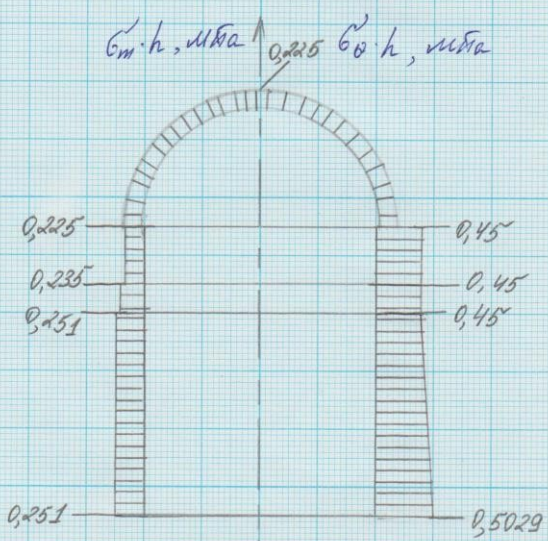
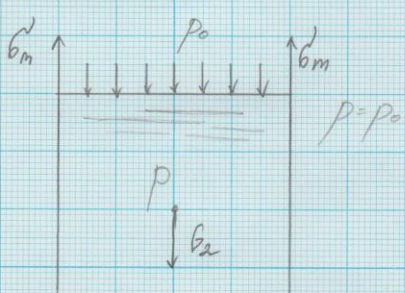
Насосок IV



Насосок I



Насосок II



Построение эпюр меридиальных и окружных напряжений