

Задание 1.

Растяжение - сжатие стержней и изгиб балок

Необходимо рассчитать балку (рис 1), расположенную на шарнирно неподвижной опоре и невесомом стержне закрепленном на "потолку", а также рассчитать данный стержень из условия прочности на растяжение - сжатие, при условии, что он выполнен из круглого прутка с допусаемым напряжением 160 МПа. На балку действует сосредоточенная сила, момент и равномерно - распределенная нагрузка. Данные берутся из таблицы 1 методических указаний.

Исходные значения

Отношение сторон прямоугольного сечения $\left[\frac{h}{b} \right] = 1.4$

Коэффициент запаса $n = 3.2$

Длина стержня $l_c = 0.4$ м

Марка стали балки - сталь 40Г

Изгибающие моменты, Н*м

$M_a = 28000$

Сосредоточенные силы, Н

$P_d = 3800$

Распределенные нагрузки, Н/м

$q_{ab} = -1100$ $q_{bc} = -1100$

Длины участков, м

$l_{ab} = 1$ $l_{bc} = 0,9$ $l_{cd} = 0,35$

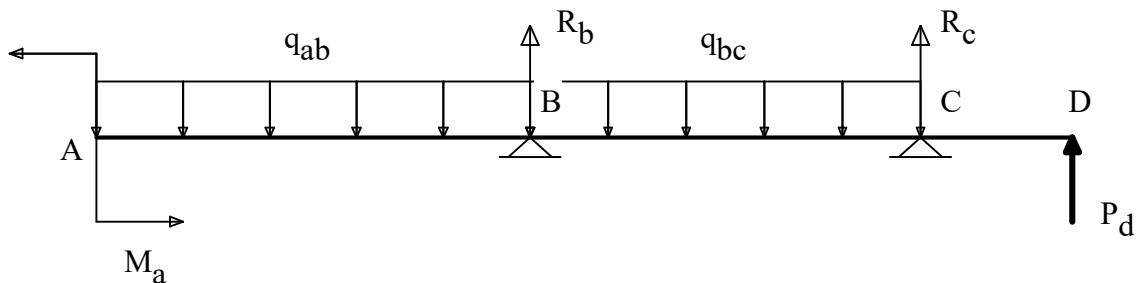


Рисунок 1. Действия силы, момента и распределенной нагрузки на двухопорную балку.

Решение: Определим реакции опор.

Составим уравнения статики. Сумма моментов относительно опоры В равна 0

$\Sigma M_b = 0$

$$M_a + \frac{l_{ab}^2 \cdot q_{ab}}{2} - \frac{l_{bc}^2 \cdot q_{bc}}{2} + P_d \cdot (l_{bc} + l_{cd}) + R_c \cdot l_{bc} = 0$$

$$\begin{aligned}
 &= R_c = \frac{M_a + \frac{l_{ab}^2 \cdot q_{ab}}{2} - \frac{l_{bc}^2 \cdot q_{bc}}{2} + P_d \cdot (l_{bc} + l_{cd})}{l_{bc}} \\
 &= R_c = \frac{28000 + \frac{1^2 \cdot 1100}{2} - \frac{0.9^2 \cdot 1100}{2} + 3800 \cdot (0.9 + 0.35)}{0.9} \\
 &= R_c = -36505.0 = -3.651 \times 10^4 \cdot \text{Н}
 \end{aligned}$$

Сумма моментов относительно опоры С равна 0

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_c = 0 \quad & M_a + \frac{l_{bc}^2 \cdot q_{bc}}{2} + P_d \cdot l_{cd} - R_b \cdot l_{bc} + l_{ab} \cdot q_{ab} \cdot \left(\frac{l_{ab}}{2} + l_{bc} \right) = 0 \\
 &= R_b = \frac{M_a + \frac{l_{bc}^2 \cdot q_{bc}}{2} + P_d \cdot l_{cd} + l_{ab} \cdot q_{ab} \cdot \left(\frac{l_{ab}}{2} + l_{bc} \right)}{l_{bc}} \\
 &= R_b = \frac{28000 + \frac{0.9^2 \cdot 1100}{2} + 3800 \cdot 0.35 + 1 \cdot 1100 \cdot \left(\frac{1}{2} + 0.9 \right)}{0.9} \\
 &= R_b = 34795.0 = 3.479 \times 10^4 \cdot \text{Н}
 \end{aligned}$$

Сделаем проверку расчетов

Сумма сил на ось Y равна 0

$$\Sigma Y = 0$$

$$\Sigma Y = P_d + R_b + R_c - l_{ab} \cdot q_{ab} - l_{bc} \cdot q_{bc} = 0$$

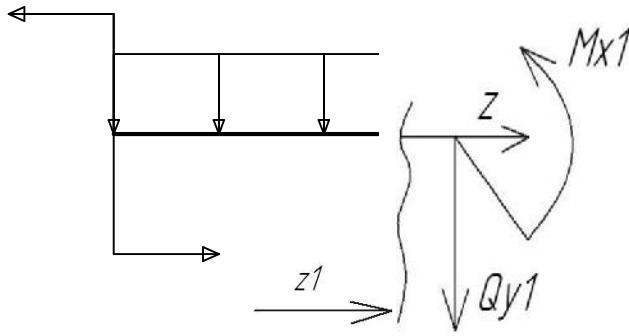
$$\Sigma Y = 3800 + R_b + R_c - 1 \cdot 1100 - 0.9 \cdot 1100 = 0$$

$$\Sigma Y = 3800 - 1100 - 0.9 \cdot 1100 + 34795 + -36505 = 0$$

Проверка выполнена. Реакции опор найдены правильно

Построим эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Для этого определим поперечные силы и изгибающие моменты на участках

1 участок $0 \leq z_1 \leq l_{ab}$



при $z_1 = 0$

$$M_{1x} = -\frac{q_{ab} \cdot z_1^2}{2} - M_a$$

$$Q_{1y} = -q_{ab} \cdot z_1$$

Подставляя числовые значения, получим

$$M_{1x} = -\frac{1100 \cdot 0^2}{2} - 28000 = -2.8 \times 10^4 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$Q_{1y} = -1100 \cdot 0 = 0 \cdot \text{Н}$$

при $z_1 = \frac{l_{ab}}{2} = 0.5 \cdot \text{м}$

$$M'_{1x} = -\frac{1100 \cdot 0.5^2}{2} - 28000 = -2.814 \times 10^4 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$$

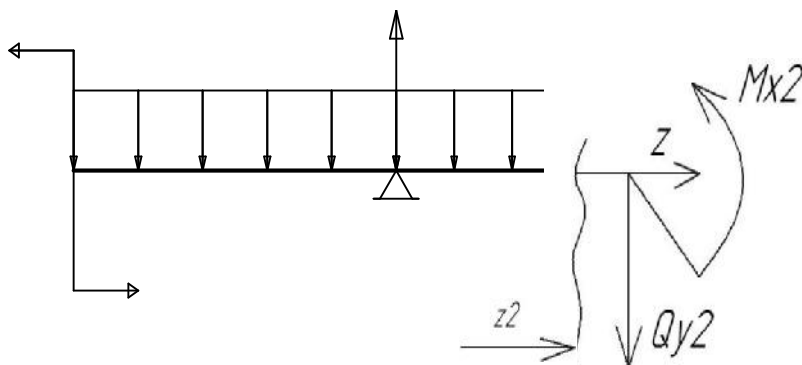
$$Q'_{1y} = -1100 \cdot 0.5 = -550 \cdot \text{Н}$$

при $z_1 = l_{ab} = 1 \cdot \text{м}$

$$M''_{1x} = -\frac{1100 \cdot 1^2}{2} - 28000 = -2.855 \times 10^4 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$Q''_{1y} = -1100 = -1.1 \times 10^3 \cdot \text{Н}$$

2 участок $0 \leq z_2 \leq l_{bc}$



при $z_2 = 0$

$$M_{2x} = R_b \cdot z_2 - \frac{q_{bc} \cdot z_2^2}{2} - M_a - l_{ab} \cdot q_{ab} \cdot \left(\frac{l_{ab}}{2} + z_2 \right)$$

$$Q_{2y} = R_b - l_{ab} \cdot q_{ab} - q_{bc} \cdot z_2$$

Подставляя числовые значения, получим

$$M_{2x} = 34795 \cdot 0 - \frac{1100 \cdot 0^2}{2} - 28000 - 1 \cdot 1100 \cdot \left(\frac{1}{2} + 0 \right) = -2.855 \times 10^4 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$Q_{2y} = 34795 - 1 \cdot 1100 - 1100 \cdot 0 = 3.369 \times 10^4 \cdot \text{Н}$$

при $z_2 = \frac{l_{bc}}{2} = 0.45 \cdot \text{м}$

$$M'_{2x} = 34795 \cdot 0.45 - \frac{1100 \cdot 0.45^2}{2} - 28000 - 1 \cdot 1100 \cdot \left(\frac{1}{2} + 0.45 \right) = -1.35 \times 10^4 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$$

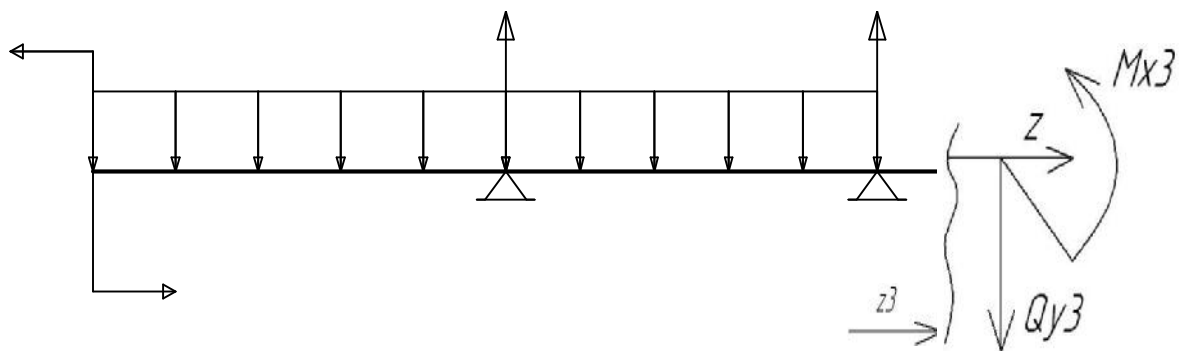
$$Q'_{2y} = 34795 - 1 \cdot 1100 - 1100 \cdot 0.45 = 3.32 \times 10^4 \cdot \text{Н}$$

при $z_2 = l_{bc} = 0.9 \cdot \text{м}$

$$M''_{2x} = 34795 \cdot 0.9 - \frac{1100 \cdot 0.9^2}{2} - 28000 - 1 \cdot 1100 \cdot \left(\frac{1}{2} + 0.9 \right) = 1.33 \times 10^3 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$Q''_{2y} = 34795 - 1 \cdot 1100 - 1100 \cdot 0.9 = 3.271 \times 10^4 \cdot \text{Н}$$

3 участок $0 \leq z_3 \leq l_{cd}$



при $z_3 = 0$

$$M_{3x} = R_b \cdot (l_{bc} + z_3) - M_a + R_c \cdot z_3 - l_{ab} \cdot q_{ab} \cdot \left(\frac{l_{ab}}{2} + l_{bc} + z_3 \right) - l_{bc} \cdot q_{bc} \cdot \left(\frac{l_{bc}}{2} + z_3 \right)$$

$$Q_{3y} = R_b + R_c - l_{ab} \cdot q_{ab} - l_{bc} \cdot q_{bc}$$

Подставляя числовые значения, получим

$$M_{3x} = 34795 \cdot (0.9 + 0) - 28000 + -36505 \cdot 0 - 1 \cdot 1100 \cdot \left(\frac{1}{2} + 0.9 + 0 \right) - 0.9 \cdot 1100 \cdot \left(\frac{0.9}{2} + 0 \right)$$

$$M_{3x} = 1.33 \times 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$Q_{3y} = 34795 + -36505 - 1 \cdot 1100 - 0.9 \cdot 1100 = -3.8 \times 10^3 \cdot \text{Н}$$

$$\text{при } z_3 = \frac{l_{cd}}{2} = 0.175 \cdot \text{м}$$

$$M'_{3x} = 34795 \cdot (0.9 + 0.175) - 28000 + -36505 \cdot 0.175 - 1 \cdot 1100 \cdot \left(\frac{1}{2} + 0.9 + 0.175 \right) \dots = 665 \text{ Н}\cdot\text{м} \\ + \left[-0.9 \cdot 1100 \cdot \left(\frac{0.9}{2} + 0.175 \right) \right]$$

$$Q'_{3y} = 34795 + -36505 - 1 \cdot 1100 - 0.9 \cdot 1100 = -3.8 \times 10^3 \cdot \text{Н}$$

$$\text{при } z_3 = l_{cd} = 0.35 \cdot \text{м}$$

$$M''_{3x} = 34795 \cdot (0.9 + 0.35) - 28000 + -36505 \cdot 0.35 - 1 \cdot 1100 \cdot \left(\frac{1}{2} + 0.9 + 0.35 \right) - 0.9 \cdot 1100 \cdot \left(\frac{0.9}{2} + 0.35 \right)$$

$$M''_{3x} = 0$$

$$Q''_{3y} = 34795 + -36505 - 1 \cdot 1100 - 0.9 \cdot 1100 = -3.8 \times 10^3 \cdot \text{Н}$$

Допустимое нормальное напряжение

$$I\sigma I = \frac{\sigma_T \cdot 10^6}{n} = \frac{575 \cdot 10^6}{3.2} = 1.797 \times 10^8 \cdot \text{Па}$$

Из условия прочности

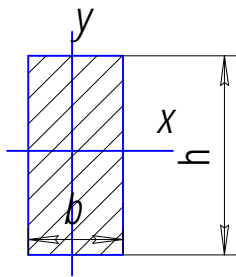
$$\sigma_{\max} = \frac{|M_{\max}|}{W_x} \leq I\sigma I$$

тогда расчетный осевой момент сопротивления сечения балки

$$W_x = \frac{|M_{\max}|}{I\sigma I} = \frac{|28550.0|}{179687500} = 0.000159 = 1.59 \times 10^{-4} \cdot \text{м}^3$$

$$W_x = 159 \cdot \text{см}^3$$

Определяем размеры прямоугольной балки



$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{b^3 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2}{6}$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot W_x}{\left(\frac{h}{b}\right)^2}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 159.0}{1.4^2}} = 7.87 = 7.87 \cdot \text{см}$$

$$h = \left[\frac{h}{b}\right] \cdot b = 1.4 \cdot 7.87 = 11.0 = 11 \cdot \text{см}$$

$$F_1 = h \cdot b = 11 \cdot 7.87 = 86.57 \quad \text{см}^2$$

При требуемом моменте сопротивления $W_x = 159 \cdot \text{см}^3$

Номер швеллера - 20а

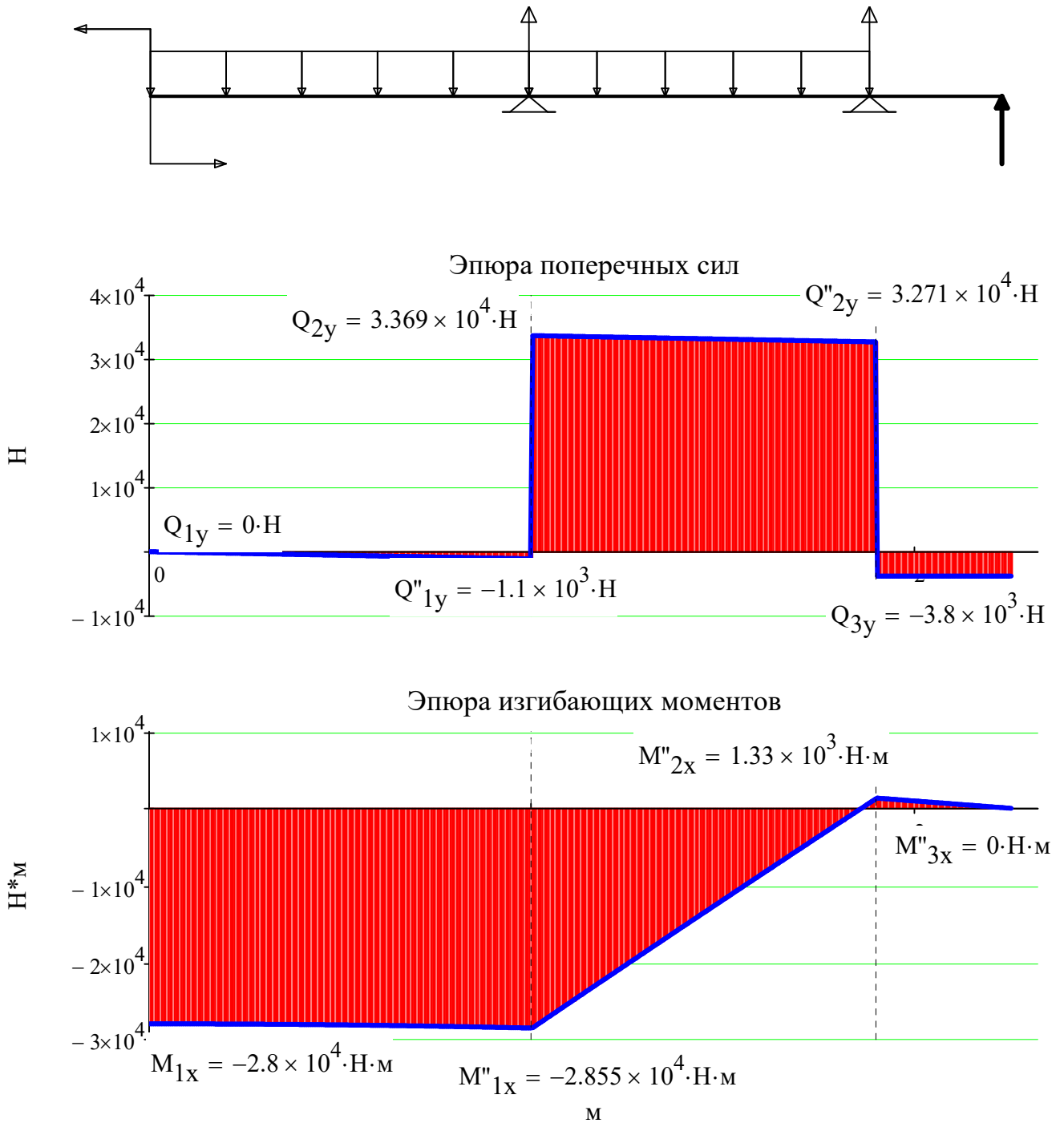
Момент сопротивления швеллера $W_{x,sv} = 167 \cdot \text{см}^3$

Число швеллеров - один

Площадь швеллера $F_2 = 25.2 \cdot \text{см}^2$

Эффективность использование швеллера в качестве нагруженной балки $\frac{F_1}{F_2} = 343.532\%$

Строим эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.



Расчет невесомого стержня на прочность

В стержне действуют внутренние нормальные силы N равные реакции $N = R_1 = 3.479 \times 10^4 \text{ Н}$

Условие прочности $\sigma_{\max} = \frac{N}{F_c} \leq [\sigma]$ где $[\sigma] = 160 \cdot 10^6 \text{ Па}$

Тогда необходимая площадь поперечного сечения

$$F_c = \frac{|N|}{[\sigma]} = \frac{|34795|}{160 \cdot 10^6} = 0.000217 \text{ м}^2$$

тогда диаметр круга $d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.000217}{\pi}} = 0.0166 \text{ м}$

Примем

$$d = 0.017 \text{ м}$$

Находим абсолютную деформацию стержня $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ - модуль Юнга

$$\Delta l = \frac{N \cdot l_c}{E \cdot F_c} = \frac{34795 \cdot 0.4}{2 \cdot 10^{11} \cdot 0.000217} = 0.000321 \text{ м}$$

$$\Delta l = 0.321 \text{ мм}$$

Задание 2

ПРИВОД НАКЛОННОГО ТРАНСПОРТЕРА ДЛЯ КАРТОФЕЛЯ

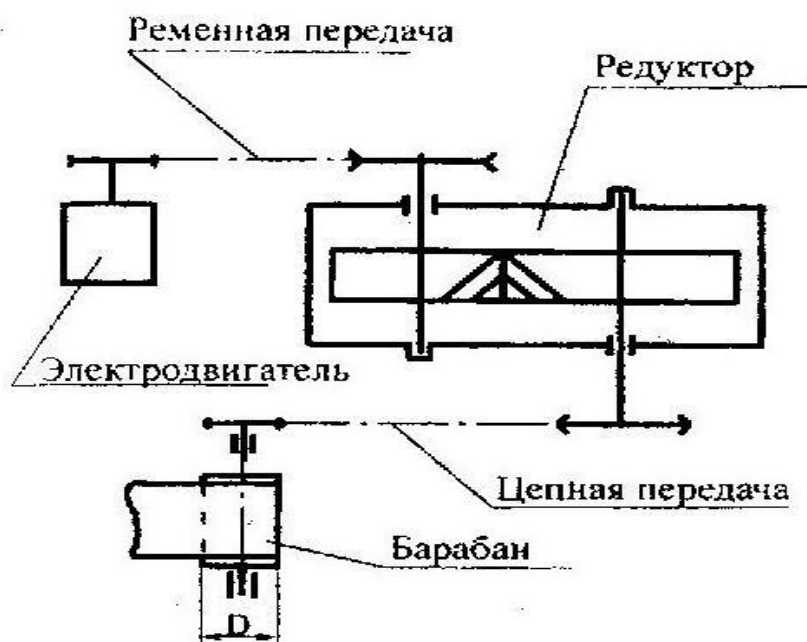
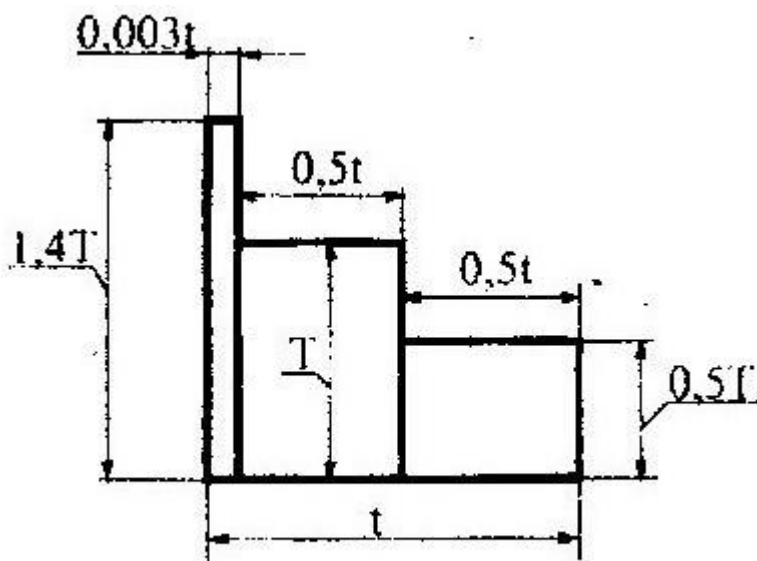
Исходные данные:

Окружное усилие на барабане $F = 27 \cdot 10^3 \text{ Н}$

Окружная скорость барабана $v = 0.3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Диаметр барабана $D_{\text{р.о.}} = 0.5 \text{ м}$

Срок службы $t = 8 \text{ лет}$ $K_{\text{год}} = 0.3$ $K_{\text{сут}} = 0.7$



1.1 Определим мощность и угловую скорость рабочего органа

$$P_{p.o.} = F \cdot v = 27 \cdot 10^3 \cdot 0.3 = 8100.0 = 8.1 \times 10^3 \cdot \text{Вт}$$

где F - окружное усилие $F = 2.7 \times 10^4 \cdot \text{Н}$

v - окружная скорость барабана $v = 0.3 \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Угловая скорость

$$\omega_{p.o.} = \frac{2v}{D_{p.o.}} = \frac{2 \cdot 0.3}{0.5} = 1.2 = 1.2 \cdot \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

где $D_{p.o.}$ - диаметр рабочего органа $D_{p.o.} = 0.5 \cdot \text{м}$

1.2 Наиболее длительно действующий момент рабочего органа

$$T_{p.o.} = \frac{P_{p.o.}}{\omega_{p.o.}} = \frac{8100}{1.2} = 6750.0 = 6.75 \times 10^3 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$$

где $P_{p.o.} = 8.1 \times 10^3 \cdot \text{Вт}$ - мощность рабочего органа

$\omega_{p.o.} = 1.2 \cdot \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ - угловая скорость рабочего органа

1.3 Момент и время их действия

при наиболее длительно действующем моменте $T_{p.o.} = 6.75 \times 10^3 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$
и сроке службы $t = 8$ лет

Опираясь на данные гистограммы, получим:

$$T_1 = T_{p.o.} \cdot T_1 = 6750 \cdot 1.4 = 9450.0 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$t_1 = t_1 \cdot t = 0.003 \cdot 8 = 0.024 \quad \text{лет}$$

$$T_2 = T_{p.o.} \cdot T_2 = 6750 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$t_2 = t_2 \cdot t = 0.5 \cdot 8 = 4.0 \quad \text{лет}$$

$$T_3 = T_{p.o.} \cdot T_3 = 6750 \cdot 0.5 = 3375.0 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

$$t_3 = t_3 \cdot t = 0.5 \cdot 8 = 4.0 \quad \text{лет}$$

1.4 Определим эквивалентный момент

$$T_E = \sqrt{\frac{T_1^2 \cdot t_1 + T_2^2 \cdot t_2 + T_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} = \sqrt{\frac{9450.0^2 \cdot 0.024 + 6750^2 \cdot 4.0 + 3375.0^2 \cdot 4.0}{0.024 + 4.0 + 4.0}} = 5353.0 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad (1.5)$$

1.5 Общий КПД привода

$\eta_1 = 0.99$ - КПД пары подшипников качения

$\eta_2 = 0.96$ - КПД ременной передачи

$\eta_3 = 0.95$ - КПД цепной передачи, открытой

$\eta_4 = 0.97$ - КПД, если передача цилиндрическая закрытая

Тогда общий КПД

$$\eta = \eta_1^{n_1} \cdot \eta_2^{n_2} \cdot \eta_3^{n_3} \cdot \eta_4^{n_4} = 0.99^2 \cdot 0.96 \cdot 0.95 \cdot 0.97 = 0.867$$

где $n_1 = 2$ - Число пар подшипников

$n_2 = 1$ - Число пар ременной передачи

$n_3 = 1$ - Число пар цепной передачи

$n_4 = 1$ - Число пар, если передача цилиндрическая закрытая

1.6 Мощность по эквивалентному моменту

$$P_{\text{расч}} = \frac{T_E \cdot \omega_{\text{р.о.}}}{\eta} = \frac{5353.0 \cdot 1.2}{0.867} = 7408.0 = 7.408 \times 10^3 \cdot \text{Вт}$$

где $T_E = 5.353 \times 10^3 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$ - эквивалентный момент

$\omega_{\text{р.о.}} = 1.2 \cdot \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ - угловая скорость рабочего органа

$\eta = 0.867$ - общий КПД

Выбираем двигатель тип - 4A160S8Y3

Мощность $P_{\text{дв}} = 7.5 \times 10^3 \cdot \text{Вт}$

Частота вращения $n = 730 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

Кратность максимального момента $\lambda = 2.2$

1.7 Минимально необходимая мощность двигателя с учетом возможной его перегрузки (максимальный момент по графику нагрузки)

$$P_{\text{min}} = \frac{T_1 \cdot \omega_{\text{р.о.}}}{0.8 \cdot \lambda \cdot \eta} = \frac{9450.0 \cdot 1.2}{0.8 \cdot 2.2 \cdot 0.867} = 7431.0 = 7.431 \times 10^3 \cdot \text{Вт}$$

где $T_1 = 9.45 \times 10^3 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$ - максимальный момент по графику нагрузки

$\omega_{\text{р.о.}} = 1.2 \cdot \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ - угловая скорость рабочего органа

$\lambda = 2.2$ - кратность максимального момента

$\eta = 0.867$ - общий КПД

$$P_{\text{min}} = 7.431 \times 10^3 \cdot \text{Вт}$$

1.8 $P_{\text{дв}} = 7.5 \times 10^3 \cdot \text{Вт}$

$$P_{\text{расч}} = 7.408 \times 10^3 \cdot \text{Вт}$$

$$P_{\text{min}} = 7.431 \times 10^3 \cdot \text{Вт}$$

Видно, что $P \geq P_{\text{расч}}$

$$P \geq P_{\text{min}}$$

Двигатель подобран правильно

1.3. Определение исходных данных для расчета передач привода.

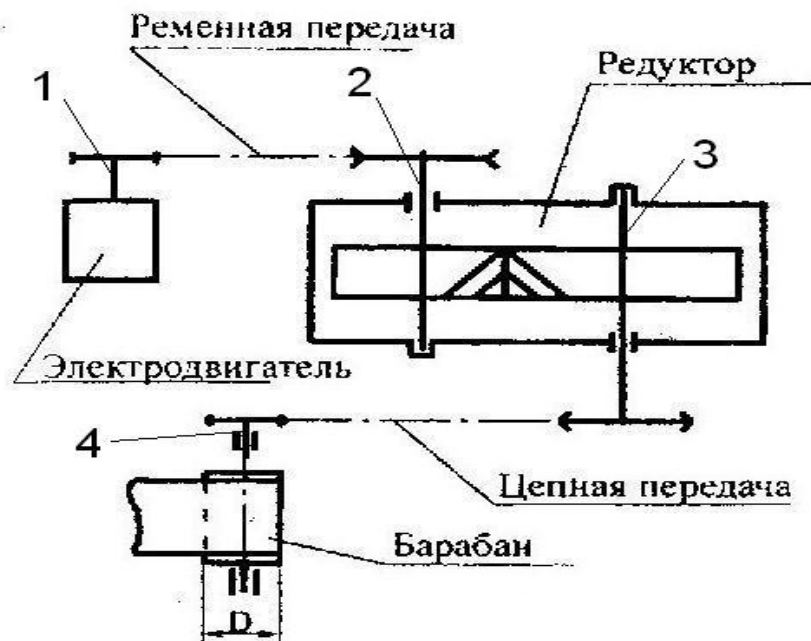
Для расчета передач необходимо определить отношение каждой передачи, угловые скорости, и моменты сил всех валов, число циклов перемен напряжений. Не следует забывать, что угловые скорости валов обусловлены угловой скоростью вала двигателя, а моменты валов - моментом вала рабочего органа.

1.3.1 Определяем общее передаточное отношение:

$$u = \frac{\omega_{\text{дв}}}{\omega_{\text{р.о.}}} \quad \text{где угловая скорость двигателя} \quad \omega_{\text{дв}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 730}{60} = 76.4 = 76.4 \cdot \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$\text{тогда} \quad u = \frac{\omega_{\text{дв}}}{\omega_{\text{р.о.}}} = \frac{76.4}{1.2} = 63.7$$

1.3.2 Начертим кинематическую схему привода и обозначим валы последовательно, начиная с двигателя



1.3.3 Разбиваем общее передаточное отношение по ступеням

$$u = u_{\text{I_II}} \cdot u_{\text{II_III}} \cdot u_{\text{III_IV}}$$

Получаем передаточные отношения механических передач

$$\text{для редуктора} \quad u_{\text{II_III}} = 8$$

$$\text{для ременной передачи} \quad u_{\text{I_II}} = 2.2$$

$$\text{для цепной передачи} \quad u_{\text{III_IV}} = 3.62$$

Общее передаточное отношение

$$u_{I_II} \cdot u_{II_III} \cdot u_{III_IV} = 2.2 \cdot 8 \cdot 3.62 = 63.712$$

1.3.4 Выражаем угловые скорости валов привода через угловые скорости вала двигателя:

1.3.5 Угловая скорость быстроходного вала редуктора

$$\omega_{II} = \frac{\omega_{дв}}{u_{I_II}} = \frac{76.4}{2.2} = 34.7 = 34.7 \cdot \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

1.3.6 Угловая скорость тихоходного вала редуктора

$$\omega_{III} = \frac{\omega_{II}}{u_{II_III}} = \frac{34.7}{8} = 4.34 = 4.34 \cdot \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

1.3.7 Угловая скорость рабочего органа

$$\omega_{IV} = \frac{\omega_{III}}{u_{III_IV}} = \frac{4.34}{3.62} = 1.2 = 1.2 \cdot \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

1.3.8 Определяем крутящие моменты валов привода по моменту рабочего органа

крутящий момент на валу двигателя

$$T_1 = \frac{T_{р.о.}}{u \cdot \eta} = \frac{6750}{63.7 \cdot 0.867} = 122.0 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

1.3.9 крутящий момент на быстроходном валу

$$T_2 = T_1 \cdot u_{I_II} \cdot \eta_2^{n_2} = 122.0 \cdot 2.2 \cdot 0.96 = 258.0 = 258 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$$

где $T_1 = 122 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$

$u_{I_II} = 2.2$ - передаточное отношение ременной передачи

$\eta_2 = 0.96$ - КПД ременной передачи

$n_2 = 1$ - число ремней

1.3.10 крутящий момент на тихоходном валу редуктора

$$T_3 = T_2 \cdot u_{II_III} \cdot \eta_1^{n_1} \cdot \eta_4 = 258 \cdot 8 \cdot 0.99^2 \cdot 0.97 = 1962.0 = 1.962 \times 10^3 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$$

где $T_2 = 258 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$

$u_{II_III} = 8$ - передаточное отношение редуктора

$\eta_1 = 0.99$ - КПД пары подшипников

$\eta_4 = 0.97$ - КПД передачи редуктора

1.3.11 крутящий момент на рабочем органе

$$T_4 = T_3 \cdot u_{III_IV} \cdot \eta_3 = 1962 \cdot 3.62 \cdot 0.95 = 6747.0 = 6.747 \times 10^3 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}$$

где $T_3 = 1.962 \times 10^3$

$u_{III_IV} = 3.62$ - передаточное отношение редуктора

$\eta_3 = 0.95$ - КПД цепной передачи