

**Вариант 13****Курсовая работа: редуктор с электродвигателем****Потапов Антон  
R3325****Вид компоновки:**

S1 - на одной плате, перпендикулярной оси двигателя;

**Условие определения числа ступеней:**

K1 - минимизация приведенного момента инерции;

На выходном валу располагается предохранительная фрикционная муфта

На выходе располагается двухпальцевый поводок.

Число оборотов выходного вала:

$$n_v := 145 \text{ мин}^{-1} = 2,4167 \text{ Гц}$$

Угловая скорость вращения выходного вала:

$$\omega_v := 2 \cdot \pi \cdot n_v = 15,1844 \text{ Гц}$$

Момент нагрузки статический:

$$M_{HC} := 35 \text{ Н см} = 0,35 \text{ Дж}$$

Момент инерции нагрузки:

$$J_H := 0,2 \text{ кг см}^2 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ кг м}^2$$

Угловое ускорение:

$$\varepsilon_v := 250 \text{ с}^{-2}$$

Динамический момент нагрузки:

$$M_{HD} := J_H \cdot \varepsilon_v = 0,005 \text{ Дж}$$

Статическая мощность

$$N_{HC} := M_{HC} \cdot \omega_v = 5,3145 \text{ Вт}$$

Динамическая мощность

$$N_{HD} := M_{HD} \cdot \omega_v = 0,0759 \text{ Вт}$$

Суммарная нагрузка на выходе механизма:

$$N_{HS} := N_{HC} + N_{HD} = 5,3904 \text{ Вт}$$

Коэффициент запаса:

$$k := 2$$

Мощность двигателя:

$$N_{DV} := k \cdot N_{HS} = 10,7809 \text{ Вт}$$

**Выбираем двигатель: ДПР - 72 - Ф2 - 03**

Частота вращения вала двигателя:

$$n_{DV} := 4500 \text{ мин}^{-1}$$

Полезная мощность:

$$N_{DV} := 18,5 \text{ Вт}$$

Номинальный момент на валу:

$$M_{DV} := 39,2 \text{ Н мм} = 0,0392 \text{ Дж}$$

Пусковой момент:

$$M_P := 245 \text{ Н мм}$$

Момент инерции ротора:

$$J := 0,00869 \text{ кг см}^2$$

Масса

$$mass := 0,6 \text{ кг}$$

Гарантийная наработка:

$$L_{DV} := 1000 \text{ ч}$$

**Кинематический расчет редуктора:**

$$i_{MR} := \frac{n_{DV}}{n_v} = 31,0345$$

$$n_{opt} := 3 \cdot \lg(i_{MR}) = 4,4755$$

$$n := 4$$

Передаточные числа ступеней:

$$i_{12} := 1,6$$

$$i_{34} := 1,85$$

$$i_{56} := 2,7$$

$$i_{78} := 3,9$$

Числа зубьев шестерен и колес:

$$Z_1 := 16$$

$$Z_3 := Z_1 = 16$$

$$Z_5 := Z_1 = 16$$

$$Z_7 := Z_1 = 16$$

$$Z_2 := Z_1 \cdot i_{12} = 25,6$$

$$Z_2 := 26$$

$$Z_4 := Z_3 \cdot i_{34} = 29,6$$

$$Z_4 := 30$$

$$Z_6 := Z_5 \cdot i_{56} = 43,2$$

$$Z_6 := 44$$

$$Z_8 := Z_7 \cdot i_{78} = 62,4$$

$$Z_8 := 63$$

Действительные передаточные отношения каждой пары:

$$i_{12} := \frac{Z_2}{Z_1} = 1,625$$

$$i_{34} := \frac{Z_4}{Z_3} = 1,875$$

$$i_{56} := \frac{Z_6}{Z_5} = 2,75$$

$$i_{78} := \frac{Z_8}{Z_7} = 3,9375$$

Действительное передаточное отношение механизма:

$$i_{MD} := i_{12} \cdot i_{34} \cdot i_{56} \cdot i_{78} = 32,9919$$

$$\Delta i_{MD} := i_{MR} - i_{MD} = -1,9575$$

Итс окей!

Расчетное значение скорости выходного вала:

$$n_{RV} := \frac{n_{DV}}{i_{MD}} = 2,2733 \text{ Гц}$$

**Проектировочный расчет модуля зацепления:**

Исходные данные из проектировочного расчета пятого семестра:

Допускаемый угол закручивания вала на единицу длины:

$$\theta_d := \frac{1}{10000} \frac{\text{рад}}{\text{мм}} = 0,1 \cdot \frac{1}{\text{м}}$$

Допускаемая стрела изгиба на единицу длины вала:

$$\Delta f := \frac{1,4}{1000} = 0,0014$$

Коэффициент запаса прочности материала вала:

$$S_1 := 6$$

Вариант марки материала вала:

$$k_1 := 3$$

Вариант марки материала ЗК:

$$k_2 := 9$$

Степень точности и вид сопряжения ЗК:

$$6 - E$$

Для ЗК используется материал СТАЛЬ 15Х

Термообработка:

объемная закалка

Механические характеристики:

$$\sigma_B := 685 \text{ МПа}$$

$$\sigma_T := 490 \text{ МПа}$$

Твердость

$$HB := 179$$

**Расчет**

Так как по условию твердость материала ЗК  $HB=179 < 350$ , габариты эвольвентной передачи определяются только контактной прочностью зубьев.

Предел контактной выносливости при объемной закалке:

$$\sigma_{HlimB} := 17 \cdot H_{HRC9} + 200$$

$$\sigma_{HlimB} := 17 \cdot 15 \text{ МПа} + 200 \text{ МПа} = 4,55 \cdot 10^8 \text{ Па}$$

Допускаемое контактное напряжение:

$$S_H := 1,1$$

$$Z_N := 1$$

$$\sigma_{HP} := 0,9 \cdot \frac{\sigma_{HlimB}}{S_H} \cdot Z_N = 3,7227 \cdot 10^8 \text{ Па}$$

$S_{Hmin} = 1.1$  - Коэффициент запаса прочности для зубчатых колес;

$Z_N = 1.0$  - Коэффициент долговечности;

Ориентировочное значение диаметра начальной окружности шестерни:

$$d_{w1} = K_d * \sqrt[3]{\frac{T_{2H} * K_{H\beta} * (u + 1)}{\psi_{bd} * \sigma_{HP}^2 * u^2}} = 14,5 \text{ мм}$$

$K_d = 770$  - вспомогательный коэффициент для прямозубых передач;

Коэффициенты относительной ширины венца зубьев:

$$\psi_{bd} = 0.2, \psi_{ba} = \frac{2 * \psi_{bd}}{u + 1} = 0.089$$

$K_{H\beta} = 1.05$  - коэффициент, учитывающий неравномерное распределение нагрузки по ширине венца (определяется по экспериментальной характеристике);

Ориентировочное значение межосевого расстояния:

$$a_w = K_a * (u + 1) * \sqrt[3]{\frac{T_{2H} * K_{H\beta}}{\psi_{ba} * \sigma_{HP}^2 * u^2}} = 33,3 \text{ мм}$$

3

Ориентировочное значение модуля:

$$m = \frac{d_{w1}}{z_1} = 0.9$$

Возьмем ближайший больший модуль из ряда стандартных значений модуля:  $m = 1 \text{ мм}$

Модуль :

$$m := 1$$

### Геометрический расчет зубчатой передачи

Число зубьев:

$$Z_1 := 16$$

$$Z_3 := Z_1 = 16$$

$$Z_5 := Z_1 = 16$$

$$Z_7 := Z_1 = 16$$

$$Z_2 := Z_1 \cdot i_{12} = 26$$

$$Z_4 := Z_3 \cdot i_{34} = 30$$

$$Z_6 := Z_5 \cdot i_{56} = 44$$

$$Z_8 := Z_7 \cdot i_{78} = 63$$

Модуль расчетный:

$$m := 1 \text{ мм}$$

Угол наклона зубьев:

$$\beta := 0$$

Угол профиля:

$$\alpha := 20^\circ$$

Коэффициент высоты головки:

$$h_{az} := 1,0$$

Коэффициент радиального зазора:

$$c_z := 0,25$$

Коэффициент граничной высоты:

$$h_{iz} := 2$$

Передаточное число:

Действительные передаточные отношения каждой пары:

$$i_{12} := \frac{Z_2}{Z_1} = 1,625$$

$$i_{34} := \frac{Z_4}{Z_3} = 1,875$$

$$i_{56} := \frac{Z_6}{Z_5} = 2,75$$

$$i_{78} := \frac{Z_8}{Z_7} = 3,9375$$

Диаметры делительных окружностей:

$$d_1 := m \cdot Z_1 = 0,016 \text{ м}$$

$$d_2 := m \cdot Z_2 = 0,026 \text{ м}$$

$$d_3 := m \cdot Z_3 = 0,016 \text{ м}$$

$$d_4 := m \cdot Z_4 = 0,03 \text{ м}$$

$$d_5 := m \cdot Z_5 = 0,016 \text{ м}$$

$$d_6 := m \cdot Z_6 = 0,044 \text{ м}$$

$$d_7 := m \cdot Z_7 = 0,016 \text{ м}$$

$$d_8 := m \cdot Z_8 = 0,063 \text{ м}$$

Угол профиля торцовый:

$$\alpha_t := 20^\circ$$

Коэффициент минимального смещения:

$$x_{min1} := h_{iz} - h_{az} - \frac{Z_1 \cdot \sin(\alpha_t)^2}{2 \cdot \cos(\beta)} = 0,0642$$

$$x_{min2} := h_{iz} - h_{az} - \frac{Z_2 \cdot (\sin(\alpha_t))^2}{2 \cdot \cos(\beta)} = -0,5207$$

$$x_{min3} := h_{iz} - h_{az} - \frac{Z_3 \cdot \sin(\alpha_t)^2}{2 \cdot \cos(\beta)} = 0,0642$$

$$x_{min4} := h_{iz} - h_{az} - \frac{Z_4 \cdot (\sin(\alpha_t))^2}{2 \cdot \cos(\beta)} = -0,7547$$

$$x_{min5} := h_{iz} - h_{az} - \frac{Z_5 \cdot \sin(\alpha_t)^2}{2 \cdot \cos(\beta)} = 0,0642$$

$$x_{min6} := h_{iz} - h_{az} - \frac{Z_6 \cdot (\sin(\alpha_t))^2}{2 \cdot \cos(\beta)} = -1,5735$$

$$x_{min7} := h_{iz} - h_{az} - \frac{Z_7 \cdot \sin(\alpha_t)^2}{2 \cdot \cos(\beta)} = 0,0642$$

$$x_{min8} := h_{iz} - h_{az} - \frac{Z_8 \cdot (\sin(\alpha_t))^2}{2 \cdot \cos(\beta)} = -2,6848$$

Коэффициент смещения:

$$x_1 := 0,07$$

$$x_2 := -x_1 = -0,07$$

$$x_3 := x_1 = 0,07$$

$$x_4 := -x_3 = -0,07$$

$$x_5 := x_1 = 0,07$$

$$x_6 := -x_5 = -0,07$$

$$x_7 := x_1 = 0,07$$

$$x_8 := -x_7 = -0,07$$

Угол зацепления:

$$\alpha_{tw} := \arcsin \left( \sin(\alpha_t) + 2 \cdot \frac{(x_1 + x_2)}{Z_1 + Z_2} \right)$$

$$\alpha_{tw} := 20^\circ$$

Межосевое расстояние делительное:

$$a_{12} := \frac{m \cdot (Z_1 + Z_2)}{2 \cdot \cos(\beta)} = 0,021 \text{ м}$$

$$a_{34} := \frac{m \cdot (Z_3 + Z_4)}{2 \cdot \cos(\beta)} = 0,023 \text{ м}$$

$$a_{56} := \frac{m \cdot (Z_5 + Z_6)}{2 \cdot \cos(\beta)} = 0,03 \text{ м}$$

$$a_{78} := \frac{m \cdot (Z_7 + Z_8)}{2 \cdot \cos(\beta)} = 0,0395 \text{ м}$$

Межосевое расстояние:

$$a_{w12} := a_{12} \cdot \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{tw})} = 0,021 \text{ м}$$

$$a_{w34} := a_{34} \cdot \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{tw})} = 0,023 \text{ м}$$

$$a_{w56} := a_{56} \cdot \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{tw})} = 0,03 \text{ м}$$

$$a_{w78} := a_{78} \cdot \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{tw})} = 0,0395 \text{ м}$$

Высота ножки зуба:

$$h_{f1} := m \cdot (h_{az} + c_z - x_1) = 0,0012 \text{ м}$$

$$h_{f2} := m \cdot (h_{az} + c_z - x_2) = 0,0013 \text{ м}$$

$$h_{f3} := m \cdot (h_{az} + c_z - x_3) = 0,0012 \text{ м}$$

$$h_{f4} := m \cdot (h_{az} + c_z - x_4) = 0,0013 \text{ м}$$

$$h_{f5} := m \cdot (h_{az} + c_z - x_5) = 0,0012 \text{ м}$$

$$h_{f6} := m \cdot (h_{az} + c_z - x_6) = 0,0013 \text{ м}$$

$$h_{f7} := m \cdot (h_{az} + c_z - x_7) = 0,0012 \text{ м}$$

$$h_{f8} := m \cdot (h_{az} + c_z - x_8) = 0,0013 \text{ м}$$

Коэффициент воспринимаемого смещения:

$$y := \frac{a_w - a}{m}$$

$$y := 0$$

Коэффициент уравнительного смещения:

$$\Delta y := x_1 + x_2 - y$$

$$\Delta y := 0$$

Высота головки зуба:

$$h_{a1} := m \cdot (h_{az} + x_1 - \Delta y) = 0,0011 \text{ м}$$

$$h_{a2} := m \cdot (h_{az} + x_2 - \Delta y) = 0,0009 \text{ м}$$

$$h_{a3} := m \cdot (h_{az} + x_3 - \Delta y) = 0,0011 \text{ м}$$

$$h_{a4} := m \cdot (h_{az} + x_4 - \Delta y) = 0,0009 \text{ м}$$

$$h_{a5} := m \cdot (h_{az} + x_5 - \Delta y) = 0,0011 \text{ м}$$

$$h_{a6} := m \cdot (h_{az} + x_6 - \Delta y) = 0,0009 \text{ м}$$

$$h_{a7} := m \cdot (h_{az} + x_7 - \Delta y) = 0,0011 \text{ м}$$

$$h_{a8} := m \cdot (h_{az} + x_8 - \Delta y) = 0,0009 \text{ м}$$

Диаметр окружности впадин:

$$d_{f1} := d_1 - 2 \cdot h_{f1} = 0,0136 \text{ м}$$

$$d_{f2} := d_2 - 2 \cdot h_{f2} = 0,0234 \text{ м}$$

$$d_{f3} := d_3 - 2 \cdot h_{f3} = 0,0136 \text{ м}$$

$$d_{f4} := d_4 - 2 \cdot h_{f4} = 0,0274 \text{ м}$$

$$d_{f5} := d_5 - 2 \cdot h_{f5} = 0,0136 \text{ м}$$

$$d_{f6} := d_6 - 2 \cdot h_{f6} = 0,0414 \text{ м}$$

$$d_{f7} := d_7 - 2 \cdot h_{f7} = 0,0136 \text{ м}$$

$$d_{f8} := d_8 - 2 \cdot h_{f8} = 0,0604 \text{ м}$$

Диаметр окружности вершин:

$$d_{a1} := d_1 + 2 \cdot h_{a1} = 0,0181 \text{ м}$$

$$d_{a2} := d_2 + 2 \cdot h_{a2} = 0,0279 \text{ м}$$

$$d_{a3} := d_3 + 2 \cdot h_{a3} = 0,0181 \text{ м}$$

$$d_{a4} := d_4 + 2 \cdot h_{a4} = 0,0319 \text{ м}$$

$$d_{a5} := d_5 + 2 \cdot h_{a5} = 0,0181 \text{ м}$$

$$d_{a6} := d_6 + 2 \cdot h_{a6} = 0,0459 \text{ м}$$

$$d_{a7} := d_7 + 2 \cdot h_{a7} = 0,0181 \text{ м}$$

$$d_{a8} := d_8 + 2 \cdot h_{a8} = 0,0649 \text{ м}$$



Минимальное число зубьев свободное от подрезания:

$$z_{min1} := 2 \cdot \left( \frac{h_{iz} - h_{az} - x_1}{\sin(\alpha_t)^2} \right) = 15,9005$$

$$z_{min2} := 2 \cdot \left( \frac{h_{iz} - h_{az} - x_2}{\sin(\alpha_t)^2} \right) = 18,2941$$

$$z_{min3} := 2 \cdot \left( \frac{h_{iz} - h_{az} - x_3}{\sin(\alpha_t)^2} \right) = 15,9005$$

$$z_{min4} := 2 \cdot \left( \frac{h_{iz} - h_{az} - x_4}{\sin(\alpha_t)^2} \right) = 18,2941$$

$$z_{min5} := 2 \cdot \left( \frac{h_{iz} - h_{az} - x_5}{\sin(\alpha_t)^2} \right) = 15,9005$$

$$z_{min6} := 2 \cdot \left( \frac{h_{iz} - h_{az} - x_6}{\sin(\alpha_t)^2} \right) = 18,2941$$

$$z_{min7} := 2 \cdot \left( \frac{h_{iz} - h_{az} - x_7}{\sin(\alpha_t)^2} \right) = 15,9005$$

$$z_{min8} := 2 \cdot \left( \frac{h_{iz} - h_{az} - x_8}{\sin(\alpha_t)^2} \right) = 18,2941$$

Диаметр измерительных роликов:

$$D := 1,732 \text{ мм}$$

Угол развернутости эвольвенты в точке касания измерительных роликов:

$$\text{inv}(t) := \text{tg}(t) - t$$

$$\text{inv}\alpha_{D1} := \frac{D}{m \cdot Z_1} + \text{inv}(\alpha_t) - \frac{\pi}{2 \cdot Z_1} + \frac{2 \cdot x_1}{Z_1} \cdot \text{tg}(\alpha) = 0,0282$$

$$\text{inv}\alpha_{D2} := \frac{D}{m \cdot Z_2} + \text{inv}(\alpha_t) - \frac{\pi}{2 \cdot Z_2} + \frac{2 \cdot x_2}{Z_2} \cdot \text{tg}(\alpha) = 0,0191$$

$$\text{inv}\alpha_{D3} := \frac{D}{m \cdot Z_3} + \text{inv}(\alpha_t) - \frac{\pi}{2 \cdot Z_3} + \frac{2 \cdot x_3}{Z_3} \cdot \text{tg}(\alpha) = 0,0282$$

$$\text{inv}\alpha_{D4} := \frac{D}{m \cdot Z_4} + \text{inv}(\alpha_t) - \frac{\pi}{2 \cdot Z_4} + \frac{2 \cdot x_4}{Z_4} \cdot \text{tg}(\alpha) = 0,0186$$

$$\text{inv}\alpha_{D5} := \frac{D}{m \cdot Z_5} + \text{inv}(\alpha_t) - \frac{\pi}{2 \cdot Z_5} + \frac{2 \cdot x_5}{Z_5} \cdot \text{tg}(\alpha) = 0,0282$$

$$\text{inv}\alpha_{D6} := \frac{D}{m \cdot Z_6} + \text{inv}(\alpha_t) - \frac{\pi}{2 \cdot Z_6} + \frac{2 \cdot x_6}{Z_6} \cdot \text{tg}(\alpha) = 0,0174$$

$$\text{inv}\alpha_{D7} := \frac{D}{m \cdot Z_7} + \text{inv}(\alpha_t) - \frac{\pi}{2 \cdot Z_7} + \frac{2 \cdot x_7}{Z_7} \cdot \text{tg}(\alpha) = 0,0282$$

$$\text{inv}\alpha_{D8} := \frac{D}{m \cdot Z_8} + \text{inv}(\alpha_t) - \frac{\pi}{2 \cdot Z_8} + \frac{2 \cdot x_8}{Z_8} \cdot \text{tg}(\alpha) = 0,0167$$

$$\alpha_{D1} := 24,53$$

$$\alpha_{D4} := 21,67$$

$$\alpha_{D6} := 21,47$$

$$\alpha_{D2} := 21,8$$

$$\alpha_{D5} := 24,53$$

$$\alpha_{D7} := 24,53$$

$$\alpha_{D3} := 24,53$$

$$\alpha_{D8} := 21,07$$

Размер по роликам:

$$M_1 := \frac{m \cdot Z_1 \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{D1})} + D = 0,02 \text{ м}$$

$$M_5 := \frac{m \cdot Z_5 \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{D5})} + D = 0,02 \text{ м}$$

$$M_2 := \frac{m \cdot Z_3 \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{D2})} + D = -0,0136 \text{ м}$$

$$M_6 := \frac{m \cdot Z_6 \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{D6})} + D = -0,0459 \text{ м}$$

$$M_3 := \frac{m \cdot Z_3 \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{D3})} + D = 0,02 \text{ м}$$

$$M_7 := \frac{m \cdot Z_7 \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{D7})} + D = 0,02 \text{ м}$$

$$M_4 := \frac{m \cdot Z_4 \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{D4})} + D = -0,028 \text{ м}$$

$$M_8 := \frac{m \cdot Z_8 \cdot \cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{D8})} + D = -0,0961 \text{ м}$$

### Выбор показателей точности зубчатых передач:

$$E_{Ms1} := 58 \text{ МКМ}$$

$$E_{Ms2} := 70 \text{ МКМ}$$

$$E_{Ms7} := 58 \text{ МКМ}$$

$$E_{Ms8} := 85 \text{ МКМ}$$

$$T_{M1} := 32 \text{ МКМ}$$

$$T_{M2} := 36 \text{ МКМ}$$

$$T_{M7} := 32 \text{ МКМ}$$

$$T_{M8} := 40 \text{ МКМ}$$

$$E_{Ms3} := 58 \text{ МКМ}$$

$$E_{Ms4} := 70 \text{ МКМ}$$

$$E_{Ms9} := 58 \text{ МКМ}$$

$$E_{Ms10} := 100 \text{ МКМ}$$

$$T_{M3} := 32 \text{ МКМ}$$

$$T_{M4} := 36 \text{ МКМ}$$

$$T_{M9} := 32 \text{ МКМ}$$

$$T_{M10} := 48 \text{ МКМ}$$

$$E_{Ms5} := 58 \text{ МКМ}$$

$$E_{Ms6} := 70 \text{ МКМ}$$

$$T_{M5} := 32 \text{ МКМ}$$

$$T_{M6} := 36 \text{ МКМ}$$

### Отклонения размеров по роликам М:

$$M_{T1} := -E_{Ms1} = -5,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{T2} := -E_{Ms2} = -7 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{D1} := -(E_{Ms1} + T_{M1}) = -9 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{D2} := -(E_{Ms2} + T_{M2}) = -0,000106 \text{ м}$$

$$M_{T3} := -E_{Ms3} = -5,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{T4} := -E_{Ms4} = -7 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{D3} := -(E_{Ms3} + T_{M3}) = -9 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{D4} := -(E_{Ms4} + T_{M4}) = -0,000106 \text{ м}$$

$$M_{T5} := -E_{Ms5} = -5,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{T6} := -E_{Ms6} = -7 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{D5} := -(E_{Ms5} + T_{M5}) = -9 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{D6} := -(E_{Ms6} + T_{M6}) = -0,000106 \text{ м}$$

$$M_{T7} := -E_{Ms7} = -5,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{T8} := -E_{Ms8} = -8,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{D7} := -(E_{Ms7} + T_{M7}) = -9 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{D8} := -(E_{Ms8} + T_{M8}) = -0,000125 \text{ м}$$

$$M_{T9} := -E_{Ms9} = -5,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{T10} := -E_{Ms10} = -0,0001 \text{ м}$$

$$M_{D9} := -(E_{Ms9} + T_{M9}) = -9 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$M_{D10} := -(E_{Ms10} + T_{M10}) = -0,000148 \text{ м}$$

### Расчёт вращательных моментов на валах

Суммарный момент нагрузки:

$$M_{\Sigma} := M_{HD} + M_{HC} = 0,355 \text{ Дж}$$

Для данной схемы:

$$M_V := M_{\Sigma} = 0,355 \text{ Дж}$$

Для заданной степени точности зубчатых колес коэффициент трения скольжения стальных ЗК:

$$f := 0,08$$

**На IV валу:**

Нормальное усилие в зацеплении:

$$F_{n78} := \frac{2 \cdot M_V}{m \cdot Z_8 \cdot \cos(\alpha_t)} = 11,9931 \text{ Н}$$

Поправочный коэффициент:

$$C_{78} := \frac{F_{n78} + 3 \text{ Н}}{F_{n78} + 0,2 \text{ Н}} = 1,2296$$

$$\eta_{78} := 1 - C_{78} \cdot f \cdot \pi \cdot \left( \frac{1}{Z_8} + \frac{1}{Z_7} \right) = 0,9758$$

$$M_{IV} := \frac{M_V}{\eta_{78} \cdot i_{78}} = 0,0924 \text{ Дж}$$

**На III валу:**

Нормальное усилие в зацеплении:

$$F_{n65} := \frac{2 \cdot M_{IV}}{m \cdot Z_6 \cdot \cos(\alpha_t)} = 4,4694 \text{ Н}$$

Поправочный коэффициент:

$$C_{65} := \frac{F_{n65} + 3 \text{ Н}}{F_{n65} + 0,2 \text{ Н}} = 1,5997$$

$$\eta_{65} := 1 - C_{65} \cdot f \cdot \pi \cdot \left( \frac{1}{Z_6} + \frac{1}{Z_5} \right) = 0,9657$$

$$M_{III} := \frac{M_{IV}}{\eta_{65} \cdot i_{56}} = 0,0348 \text{ Дж}$$

**На II валу:**

Нормальное усилие в зацеплении:

$$F_{n43} := \frac{2 \cdot M_{III}}{m \cdot Z_4 \cdot \cos(\alpha_t)} = 2,4682 \text{ Н}$$

Поправочный коэффициент:

$$C_{43} := \frac{F_{n43} + 3 \text{ Н}}{F_{n43} + 0,2 \text{ Н}} = 2,0494$$

$$\eta_{43} := 1 - C_{43} \cdot f \cdot \pi \cdot \left( \frac{1}{Z_4} + \frac{1}{Z_3} \right) = 0,9506$$

$$M_{II} := \frac{M_{III}}{\eta_{43} \cdot i_{34}} = 0,0195 \text{ Дж}$$

**На I валу:**

Нормальное усилие в зацеплении:

$$F_{n21} := \frac{2 \cdot M_{II}}{m \cdot Z_2 \cdot \cos(\alpha_t)} = 1,5978 \text{ Н}$$

Поправочный коэффициент:

$$C_{21} := \frac{F_{n21} + 3 \text{ Н}}{F_{n21} + 0,2 \text{ Н}} = 2,5575$$

$$\eta_{21} := 1 - C_{21} \cdot f \cdot \pi \cdot \left( \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_1} \right) = 0,9351$$

$$M_I := \frac{M_{II}}{\eta_{21} \cdot i_{12}} = 0,0128 \text{ Дж}$$

**Расчет валов на статическую прочность**

Механические характеристики конструкционной стали, используемой для изготовления вала

Упругие константы углеродистых сталей:

$E = 1.95..2.05 \cdot 10^5$  МПа - модуль упругости первого рода;

$G = 0.80..0.81 \cdot 10^5$  МПа - модуль упругости второго рода;

$\nu = 0.024..0.028$  - коэффициент Пуассона;

$$G := 0,8 \cdot 10^5 \text{ МПа} = 8 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

Марки стали: Сталь 35;

$$\sigma_{BV} \geq 600 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{TV} \geq 320 \text{ МПа}$$

$$\tau_{TV} \geq 190 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{H\_1} := 220 - 300 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{P\_1} := 170 - 220 \text{ МПа}$$

$$\tau_{k\_1} := 130 - 180 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{BV} := 600 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{TV} := 320 \text{ МПа}$$

$$\tau_{TV} := 190 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{H\_1} := 220 - 300 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{P\_1} := 170 - 220 \text{ МПа}$$

$$\tau_{k\_1} := 130 - 180 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение при кручении:

$$\tau_{dk} := \frac{\sigma_{TV}}{S_1} = 5,3333 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

С учетом того, что при проектировочном расчете валов допускаемые напряжения обычно занижают:

$$\tau_{dk} := 20 \text{ МПа}$$

По условию статической прочности вала на кручение:

$$d_{min} := \left( \frac{M_V}{0,2 \cdot \tau_{dk}} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,0045 \text{ м}$$

По условию крутильной жесткости вала:

$$d_{min} := \left( \frac{M_V}{0,1 \cdot G \cdot \theta_d} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,0046 \text{ м}$$

$$dm := 5 \text{ мм}$$

Радиальная составляющая силы резания:

$$P := 150 + S_1 \cdot 10 = 210$$

Длина вала, округленная до ближайшего целого:

$$L := 10 \cdot dm = 0,05 \text{ м}$$

Допускаемая деформация изгиба вала:

$$\Delta f_{ud} := \Delta f \cdot L = 7 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Модуль первого рода:

$$E := 200000 \text{ МПа}$$

$$d := \left( \frac{1,3 \text{ Н} \cdot P \cdot L}{E \cdot \pi \cdot \Delta f_{ud}} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,00528 \text{ м}$$

$$d := 0,006 \text{ м}$$

Для установки зубчатых колес:

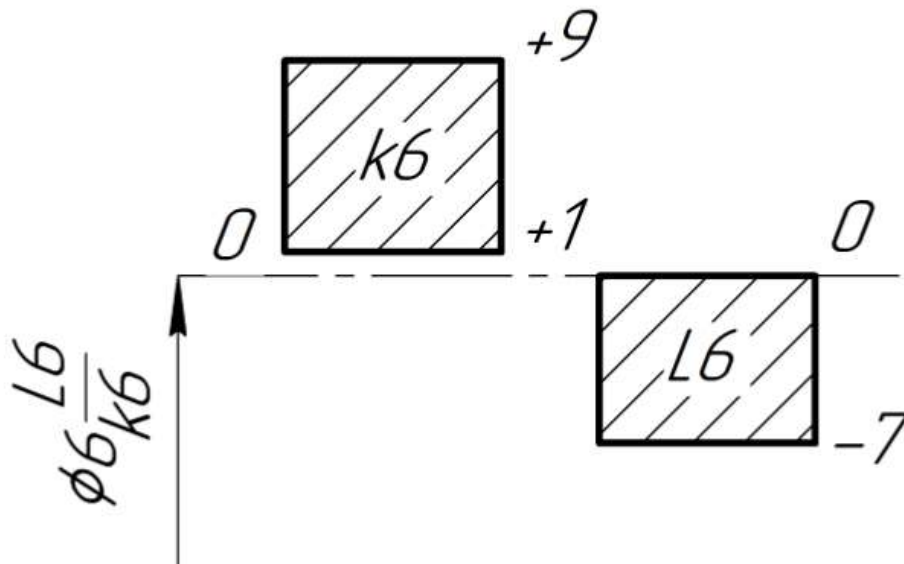
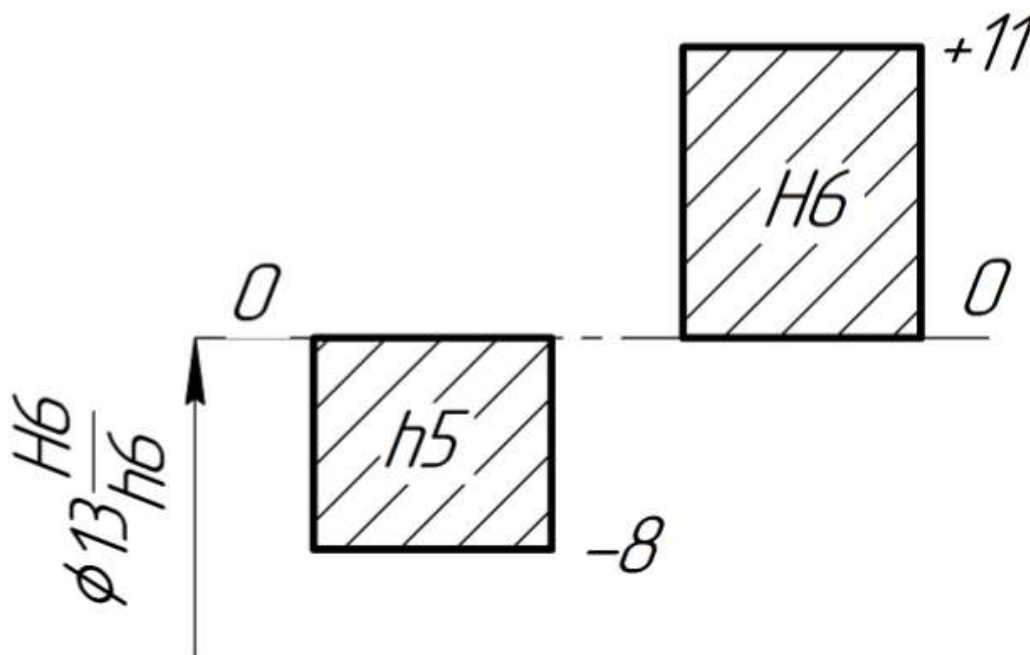
$$\Delta f_{ud} := 0,03 \cdot m = 3 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$d_{zk} := \left( \frac{1,3 \text{ Н} \cdot P \cdot L}{E \cdot \pi \cdot \Delta f_{ud}} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,00652 \text{ м}$$

$$d_{zk} := 0,007 \text{ м}$$

**Выбор посадок для сопрягаемых деталей:**

Данные из расчета прошлого семестра:

**4.1. Выбор посадок для сопрягаемых деталей, определение зазоров и натягов в сопряжениях****4.1.1. Посадки внутреннего кольца шарикоподшипников с валом****4.2.2 Посадка наружного кольца шарикоподшипника с подшипниковой втулкой**

Для выходного вала:

#### 4.1.3. Посадки зубчатого колеса с валом

