

Определим моменты на валах

$$M_{\text{вх}} = 1,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_5 = 1,2 \text{ Н}\cdot\text{м} = 1200 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_4 = \frac{M_5}{i \cdot \eta_{\text{ш}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{вх}}} = \frac{1200}{3,3 \cdot 0,98 \cdot 0,99} = 370 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_3 = \frac{M_4}{i \cdot \eta_i \cdot \eta_{\text{пер}}} = \frac{370}{3,3 \cdot 0,98 \cdot 0,99} = 120 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_2 = \frac{M_3}{i \cdot \eta_i \cdot \eta_{\text{пер}}} = \frac{120}{3,3 \cdot 0,98 \cdot 0,99} = 37 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_1 = \frac{37}{3,3 \cdot 0,98 \cdot 0,99} = 12 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_0 = \frac{12}{3,3 \cdot 0,98 \cdot 0,99} = 3,7 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Проектируем редуктор зубчатых колес на прочность
Выбор материалов:

Колеса — Ст 40 + нормализация:

$$HB = 200; HRC = 30$$

Челюсти — Ст 45 X + упрочнение

$$HB = 280; HRC = 50$$

$$\sigma_{HR} = 2HB + 70$$

$$\sigma_{FR} = 1,8 HB$$

$$\sigma_{HR1} = 2 \cdot 230 + 70 = 530 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{HR2} = 2 \cdot 200 + 70 = 470 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{FR1} = 1,8 \cdot 230 = 414 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{FR2} = 1,8 \cdot 200 = 360 \text{ МПа}$$

Проектировый расчет:

Контактная прочность

I сечение

$$N_{H1} = 60 \cdot u \cdot C \cdot L = 60 \cdot 6000 \cdot 2 \cdot 1000 = 7,2 \cdot 10^8$$

$$N_{H2} = 60 \cdot 1818 \cdot 2 \cdot 1000 = 2,2 \cdot 10^8$$

$$K_{HL} = \sqrt[m]{\frac{N_{Ho}}{N_H}}$$

$$K_{HL1} = \sqrt[6]{\frac{3 \cdot 10^7}{7,2 \cdot 10^8}} \approx 0,59 = 1$$

$$K_{HL2} = \sqrt[6]{\frac{10^7}{2,2 \cdot 10^8}} \approx 0,6 = 1$$

$$[\sigma_H]_{1,2} = \frac{\sigma_{HR1,2} \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot K_{HL1,2}}{S_{H1,2}}$$

$$[\sigma_H]_1 = \frac{530 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1,2} = 442 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_H]_2 = \frac{470 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1,2} = 392 \text{ МПа}$$

II сечение

$$N_{H1} = 2,2 \cdot 10^8$$

$$N_{H2} = 60 \cdot 551 \cdot 2 \cdot 1000 = 6,6 \cdot 10^7$$

$$K_{HL1} = \sqrt[6]{\frac{3 \cdot 10^7}{2,2 \cdot 10^8}} \approx 0,72 = 1$$

$$K_{HL2} = \sqrt[6]{\frac{10^7}{6,6 \cdot 10^7}} \approx 0,73 = 1$$

$$[\sigma_{н.3}] = \frac{530 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1,2} = 442 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_{н.4}] = \frac{470 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1,2} = 392 \text{ МПа}$$

III ступень

$$N_{н1} = 6,6 \cdot 10^7$$

$$N_{н2} = 60 \cdot 167 \cdot 2 \cdot 1000 = 2 \cdot 10^7$$

$$K_{нЛ1} = \sqrt[6]{\frac{3 \cdot 10^7}{6,6 \cdot 10^7}} \approx 0,88 \approx 1$$

$$K_{нЛ2} = \sqrt[6]{\frac{10^7}{2 \cdot 10^7}} \approx 0,9 \approx 1$$

$$[\sigma_{н.5}] = \frac{530 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1,2} = 442 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_{н.6}] = \frac{470 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1,2} = 392 \text{ МПа}$$

IV ступень

$$N_{н1} = 2 \cdot 10^7$$

$$N_{н2} = 60 \cdot 51 \cdot 2 \cdot 1000 = 6,12 \cdot 10^6$$

$$K_{нЛ1} = \sqrt[6]{\frac{3 \cdot 10^7}{2 \cdot 10^7}} \approx 1,07$$

$$K_{нЛ2} = \sqrt[6]{\frac{10^7}{6,12 \cdot 10^6}} \approx 1,09$$

$$[\sigma_{н.7}] = \frac{530 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,07}{1,2} = 473 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_{н.8}] = \frac{470 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,09}{1,2} = 427 \text{ МПа}$$

V ступень

$$N_{н1} = 6,12 \cdot 10^6$$

$$N_{н2} = 60 \cdot 16 \cdot 2 \cdot 1000 = 1,92 \cdot 10^6$$

$$K_{нЛ1} = \sqrt[6]{\frac{3 \cdot 10^7}{6,12 \cdot 10^6}} \approx 1,3; \quad K_{нЛ2} = \sqrt[6]{\frac{10^7}{1,92 \cdot 10^6}} \approx 1,32$$

$$[\sigma_{н.9}] = \frac{530 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3}{1,2} = 574 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_{н.10}] = \frac{470 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,32}{1,2} = 517 \text{ МПа}$$

Меносековые расстояния:

$$a \geq K_a (1 + i_{12}) \sqrt[3]{\frac{\mu_2 K}{\psi_a \cdot i_{12}^2 [\sigma_{н}]^2}}$$

$$a_1 \geq 48,5 (1 + 3,3) \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 1,5}{0,2 \cdot 3,3^2 \cdot 392^2}} \approx 7,87 \text{ мм}$$

$$a_2 \geq 48,5 (1 + 3,3) \sqrt[3]{\frac{37 \cdot 1,5}{0,2 \cdot 3,3^2 \cdot 392^2}} \approx 11,46 \text{ мм}$$

$$a_3 \geq 48,5 (1 + 3,3) \sqrt[3]{\frac{120 \cdot 1,5}{0,2 \cdot 3,3^2 \cdot 392^2}} \approx 16,96 \text{ мм}$$

$$a_4 \geq 48,5 (1 + 3,3) \sqrt[3]{\frac{370 \cdot 1,5}{0,2 \cdot 3,3^2 \cdot 427^2}} \approx 23,32 \text{ мм}$$

$$a_5 \geq 48,5 (1 + 3,3) \sqrt[3]{\frac{1200 \cdot 1,5}{0,2 \cdot 3,3^2 \cdot 517^2}} \approx 30,38 \text{ мм}$$

Определим модуль колеса

$$m \geq \frac{2a}{z_1 + z_2}$$

$$m_1 \geq \frac{7,87 \cdot 2}{18 + 60} \approx 0,2 \Rightarrow 0,3 \text{ мм}$$

$$m_2 \geq \frac{11,46 \cdot 2}{78} \approx 0,3 \text{ мм}$$

$$m_3 \geq \frac{16,96 \cdot 2}{78} \approx 0,43 \Rightarrow 0,5 \text{ мм}$$

$$m_4 \geq \frac{23,32 \cdot 2}{78} \approx 0,6 \text{ мм}$$

$$m_5 \geq \frac{30,38 \cdot 2}{78} \approx 0,78 \Rightarrow 0,8 \text{ мм}$$

$$m_1 \geq 0,3 \text{ мм}$$

$$m_2 \geq 0,3 \text{ мм}$$

$$m_3 \geq 0,5 \text{ мм}$$

$$m_4 \geq 0,6 \text{ мм}$$

$$m_5 \geq 0,8 \text{ мм}$$

Расчет на изгибную прочность

I сечение

$$K_{FL1,2} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{N_H}}$$

$$K_{FL1} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{4,2 \cdot 10^8}} \approx 0,42 = 1$$

$$K_{FL2} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{2,2 \cdot 10^8}} \approx 0,5 = 1$$

$$[\sigma]_{F1,2} = \frac{\sigma_{PR1,2} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL1,2}}{S_{F1,2}}$$

$$[\sigma]_{F1} = \frac{414 \cdot 1 \cdot 0,62}{2,2} = 117 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{F2} = \frac{360 \cdot 1 \cdot 0,62}{2,2} = 102 \text{ МПа}$$

II сечение

$$K_{FL1} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{2,2 \cdot 10^8}} \approx 0,5 = 1$$

$$K_{FL2} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{6,6 \cdot 10^7}} \approx 0,63 = 1$$

$$[\sigma]_{F3} = \frac{414 \cdot 1 \cdot 0,62}{2,2} = 117 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{F4} = \frac{360 \cdot 1 \cdot 0,62}{2,2} = 102 \text{ МПа}$$

III сечение

$$N_{H1} = 6,6 \cdot 10^7 > 4 \cdot 10^6 \Rightarrow K_{FL1} = 1$$

$$N_{H2} = 2 \cdot 10^7 > 4 \cdot 10^6 \Rightarrow K_{FL2} = 1$$

$$[\sigma]_{F5} = \frac{414 \cdot 1 \cdot 0,62}{2,2} = 117 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{F6} = \frac{360 \cdot 1 \cdot 0,62}{2,2} = 102 \text{ МПа}$$

IV ступень

$$N_{K1} = 2 \cdot 10^7 > 4 \cdot 10^6 \Rightarrow K_{FL1} = 1$$

$$N_{K2} = 6,12 \cdot 10^7 > 4 \cdot 10^6 \Rightarrow K_{FL2} = 1$$

$$[\sigma]_{F7} = \frac{414 \cdot 1 \cdot 0,62}{2,2} = 117 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{F8} = \frac{360 \cdot 1 \cdot 0,62}{2,2} = 102 \text{ МПа}$$

V ступень

$$N_{K1} = 6,12 \cdot 10^6 > 4 \cdot 10^6 \Rightarrow K_{FL1} = 1$$

$$K_{FL2} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{1,92 \cdot 10^6}} = 1,13$$

$$[\sigma]_{F9} = \frac{414 \cdot 1 \cdot 0,62}{2,2} = 117 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{F10} = \frac{360 \cdot 1,13 \cdot 0,62}{2,2} = 115 \text{ МПа}$$

Считаем модуль

$$y_{F1} = 4,2$$

$$y_{F2} = 3,73$$

I ступень

$$\frac{y_{F1}}{[\sigma]_{F1}} = \frac{4,2}{117} = 0,036 \text{ МПа}^{-1}$$

$$\frac{y_{F2}}{[\sigma]_{F2}} = \frac{3,73}{102} = 0,037 \text{ МПа}^{-1}$$

$$0,036 < 0,037 \Rightarrow m \geq K_m \sqrt[3]{\frac{M \cdot K \cdot y_F}{Z \cdot y_{8m} [\sigma_F]}}$$

$$m \geq 1,4 \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 1,5 \cdot 0,037}{60 \cdot 4}} = 0,20 \Rightarrow 0,3 \text{ мм}$$

т.к. на ступенях II — IV значения $[\sigma]_{F1,2}$

одни и те же, будем использовать $\frac{y_{F2}}{[\sigma]_{F2}} = 0,037 \text{ МПа}^{-1}$
 $Z \geq 60$:

II сечение

$$m_2 \geq 1,4 \sqrt[3]{\frac{37 \cdot 1,5 \cdot 0,037}{60 \cdot 4}} \approx 0,28 = 0,3 \text{ мм}$$

III сечение

$$m_3 \geq 1,4 \sqrt[3]{\frac{120 \cdot 1,5 \cdot 0,037}{60 \cdot 4}} \approx 0,42 = 0,5 \text{ мм}$$

IV сечение

$$m_4 \geq 1,4 \sqrt[3]{\frac{370 \cdot 1,5 \cdot 0,037}{60 \cdot 4}} \approx 0,62 = 0,8 \text{ мм}$$

V сечение

$$\frac{y_{F1}}{[G]_{F1}} = \frac{4,2}{117} = 0,036 \text{ МПа}^{-1}, \quad \frac{y_{F2}}{[G]_{F2}} = \frac{3,73}{115} = 0,032 \text{ МПа}^{-1}$$

$$m_5 \geq 1,4 \sqrt[3]{\frac{1200 \cdot 1,5 \cdot 0,036}{28 \cdot 4}} \approx 1,35 = 1,5 \text{ мм}$$

$$m_1 = 0,3 \text{ мм}$$

$$m_2 = 0,3 \text{ мм}$$

$$m_3 = 0,5 \text{ мм}$$

$$m_4 = 0,8 \text{ мм}$$

$$m_5 = 1,5 \text{ мм}$$

$\geq$

	σ_F	σ_H	σ_Σ
m_{12}	0,3	0,3	0,3
m_{34}	0,3	0,3	0,3
m_{56}	0,5	0,5	0,5
m_{48}	0,8	0,8	0,8
m_{910}	1,5	0,8	1,5