

$$\Delta H = \frac{v \cdot \omega}{c^2}$$

$$M = F \cdot r = m \cdot g \cdot r$$

$$m \cdot a \cdot r$$

$$\frac{K \cdot M}{c^2} \approx H \cdot \mu$$

Смобой расчёт

$$M_{n-1} = \frac{M_n}{i \frac{n-1}{n} \eta_{\frac{n-1}{n}} \eta_{\text{логин}}}, \quad \eta_{\frac{n-1}{n}} = 0,98$$
$$\eta_{\text{логин}} = 0,99$$

$$M_{\text{VII}} = 100 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{VI}} = \frac{100}{0,98 \cdot 0,99 \cdot 3,3} = 31,23 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{V}} = \frac{31,23}{0,98 \cdot 0,99 \cdot 3,3} = 9,76 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{IV}} = \frac{9,76}{0,98 \cdot 0,99 \cdot 3,3} = 3,05 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{III}} = \frac{3,05}{0,98 \cdot 0,99 \cdot 3,3} = 0,95 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$M_{\text{II}} = \frac{0,95}{0,98 \cdot 0,99 \cdot 3,3} = 0,3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$M_T = \frac{0,3}{0,98 \cdot 0,99 \cdot 3,3} = 0,09 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_I = 0,09 < M_n = 12 \text{ (Н}\cdot\text{мм)} \Rightarrow \text{выполняется}$$

Расчёт зубчатого передач на прочность.

Материалы: для шестерни Сталь 40 X (HB₁ = 230)

для колеса Сталь ~~40~~ (HB₂ = 200)

Определим допускаемое контактное напряжение:

$$[\sigma_H]_{1,2} = \frac{\sigma_{HR} \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot K_{HL}}{S_H} \quad \begin{matrix} Z_R = 1; & Z_V = 1 \\ K_{H1} = 1; & S_H = 1,2 \end{matrix}$$

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

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

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

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

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

Определим допускаемое напряжение изгиба

$$[\sigma_F]_{1,2} = \frac{\sigma_{FR} \cdot K_{FC} \cdot K_{FL}}{S_F} \quad \begin{matrix} K_{FC} = 1; & K_{FL} = 1 \\ S_F = 2,2 \end{matrix}$$

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

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

$$\sigma_{FR_2} = 1,8 \cdot 200 = 360 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_F]_1 = \frac{414 \cdot 1 \cdot 1}{2,2} = 188 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_F]_2 = \frac{360 \cdot 1 \cdot 1}{2,2} = 164 \text{ МПа}$$

$$1) \frac{Y_{F2}}{[\sigma_F]} = \frac{3,73}{188} = 0,019$$

$$2) \frac{Y_{F1}}{[\sigma_F]} = 0,025$$

Найдем модуль зубчатых передач:

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot k \cdot M \cdot Y_F}{Y_{\text{вн}} \cdot z \cdot [\sigma_F]}} \quad k = 1,25 \quad Y_{\text{вн}} = 4$$

$$z_2 = z_4 = \dots = z_{12} = 67 \Rightarrow Y_F = 3,73$$

$$z_1 = z_3 = \dots = z_{11} = 20 \Rightarrow Y_F = 4,15$$

$$m_{12} \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,25 \cdot 100 \cdot 3,73}{4 \cdot 67 \cdot 164}} \approx 0,28 \Rightarrow m_{12} = 0,3 \text{ мм}$$

$$m_{11} \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,25 \cdot 31,23 \cdot 4,15}{4 \cdot 20 \cdot 188}} \approx 0,28 \Rightarrow m_{11} = 0,3 \text{ мм}$$

$$m_{10} \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,25 \cdot 31,23 \cdot 3,73}{4 \cdot 67 \cdot 164}} \approx 0,19 \Rightarrow m_{10} = 0,15 \text{ мм} \Rightarrow 0,3 \text{ мм}$$

$$m_{10} = m_9 \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,25 \cdot 9,76 \cdot 4,15}{4 \cdot 20 \cdot 188}} \approx 0,19 \Rightarrow m_9 = 0,15 \text{ мм} \Rightarrow 0,3 \text{ мм}$$

$$m_8 \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,25 \cdot 9,76 \cdot 3,73}{4 \cdot 67 \cdot 164}} \approx 0,13 \Rightarrow m_8 = 0,12 \text{ мм} \Rightarrow 0,3 \text{ мм}$$

$$m_8 = m_7 \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,25 \cdot 3,05 \cdot 4,15}{4 \cdot 20 \cdot 188}} \approx 0,13 \Rightarrow m_7 = 0,12 \text{ мм} \Rightarrow 0,3 \text{ мм}$$

$$m_6 \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,25 \cdot 3,05 \cdot 3,73}{4 \cdot 67 \cdot 164}} \approx 0,09 \Rightarrow m_6 = 0,08 \text{ мм} \Rightarrow 0,3 \text{ мм}$$

Handwritten note: m = 0,3 мм

$$m_6 = m_5 \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,25 \cdot 0,95 \cdot 4,15}{4 \cdot 20 \cdot 188}} \approx 0,09 \Rightarrow m_5 = 0,08 \text{ мм} = 0,5 \text{ мм}$$

$$m_4 \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,25 \cdot 0,95 \cdot 3,73}{4 \cdot 67 \cdot 164}} \approx 0,06 \Rightarrow m_4 = 0,06 \text{ мм} = 0,3 \text{ мм}$$

$$m_4 = m_3 \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,25 \cdot 0,3 \cdot 4,15}{4 \cdot 20 \cdot 188}} \approx 0,06 \Rightarrow m_3 = 0,06 \text{ мм} = 0,3 \text{ мм}$$

$$m_2 \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,25 \cdot 0,3 \cdot 3,73}{4 \cdot 67 \cdot 164}} \approx 0,04 \Rightarrow m_2 = 0,05 \text{ мм} = 0,3 \text{ мм}$$

$$m_2 = m_1 \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1,25 \cdot 0,09 \cdot 4,15}{4 \cdot 20 \cdot 188}} \approx 0,04 \Rightarrow m_1 = 0,05 \text{ мм} = 0,3 \text{ мм}$$

Предварительный расчёт на прочность:

$$a \geq K_d (i_{ij} + 1) \sqrt[3]{\frac{M \cdot k}{\psi_{ba} i_{ij}^2 [\sigma_H]^2}}$$

$$K_d = 48,5 \text{ МПа} ; k = 1,25 ; \psi_{ba} = 0,2$$

$$a_{1211} \geq 48,5 (3,3 + 1) \sqrt[3]{\frac{100 \cdot 1,25}{0,2 \cdot 3,3^2 \cdot 392^2}} \approx 15 \text{ мм}$$

$$a_{109} \geq 48,5 (3,3 + 1) \sqrt[3]{\frac{31,25 \cdot 1,25}{0,2 \cdot 3,3^2 \cdot 392^2}} \approx 9,3 \text{ мм} \approx 9 \text{ мм}$$

$$a_{87} \geq 48,5 (3,3 + 1) \sqrt[3]{\frac{9,76 \cdot 1,25}{0,2 \cdot 3,3^2 \cdot 392^2}} \approx 6,1 \text{ мм} \approx 6 \text{ мм}$$

$$a_{65} \geq 48,5 (3,3 + 1) \sqrt[3]{\frac{3,05 \cdot 1,25}{0,2 \cdot 3,3^2 \cdot 392^2}} \approx 4,7 \text{ мм} \approx 5 \text{ мм}$$

$$a_{43} \geq 48,5 (3,3 + 1) \sqrt[3]{\frac{0,95 \cdot 1,25}{0,2 \cdot 3,3^2 \cdot 392^2}} \approx 3,1 \text{ мм} \approx 3 \text{ мм}$$

$$a_{21} \approx 48,5(3,3+1) \sqrt[3]{\frac{0,09 \cdot 1,25}{0,2 \cdot 3,3^2 \cdot 392^2}} \approx 1,5 \text{ mm} \approx 2 \text{ mm}$$

$$m_{1211} \Rightarrow \frac{2 \cdot a_{1211}}{z_{12} + z_{11}} = \frac{2 \cdot 1,5}{67 + 20} = 0,34 \Rightarrow m_{1211} = 0,5 \text{ mm} \Rightarrow 0,3 \text{ mm}$$

$$m_{109} = \frac{2 \cdot a_{109}}{z_{10} + z_9} = \frac{2 \cdot 9}{67 + 20} = 0,2 \Rightarrow m_{109} = 0,15 \text{ mm} \Rightarrow 0,3 \text{ mm}$$

$$m_{87} = \frac{2 \cdot a_{87}}{z_8 + z_7} = \frac{2 \cdot 6}{67 + 20} = 0,14 \Rightarrow m_{87} = 0,15 \text{ mm} \Rightarrow 0,3 \text{ mm}$$

$$m_{65} = \frac{2 \cdot a_{65}}{z_6 + z_5} = \frac{2 \cdot 5}{67 + 20} = 0,11 \Rightarrow m_{65} = 0,12 \text{ mm} \Rightarrow 0,3 \text{ mm}$$

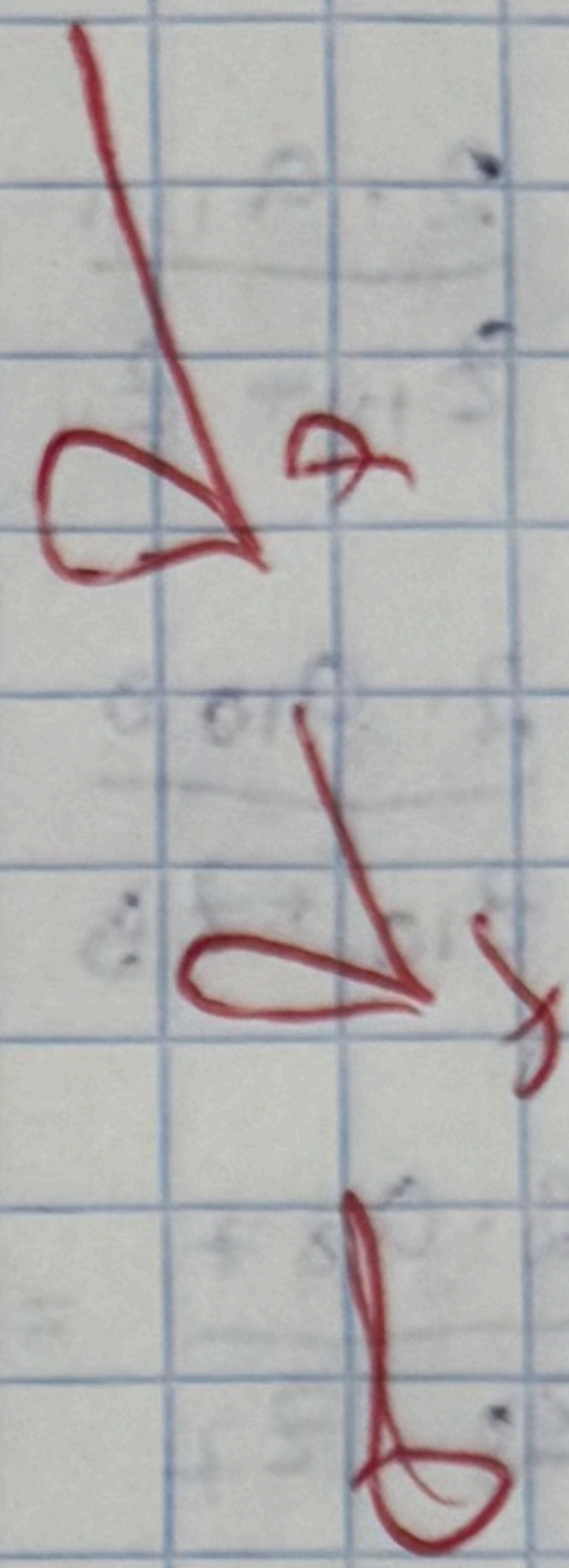
$$m_{43} = \frac{2 \cdot a_{43}}{z_4 + z_3} = \frac{2 \cdot 3}{67 + 20} = 0,07 \Rightarrow m_{43} = 0,06 \text{ mm} \Rightarrow 0,3 \text{ mm}$$

$$m_{21} = \frac{2 \cdot a_{21}}{z_2 + z_1} = \frac{2 \cdot 2}{67 + 20} = 0,05 \Rightarrow m_{21} = 0,05 \text{ mm} \Rightarrow 0,3 \text{ mm}$$

m	[σ _F]	[σ _H]	[σ] _ε
<u>m₁₂</u>	0,05	0,05	0,05
<u>m₃₄</u>	0,06	0,06	0,06
<u>m₅₆</u>	0,08	0,12	0,12
<u>m₇₈</u>	0,12	0,15	0,15
<u>m₉₁₀</u>	0,15	0,15	0,15
<u>m₁₁₁₂</u>	0,3	0,3	0,3

ниже все 0,3 мм

m	[G _F]	[G _H]	[G] _Σ
m ₁₂	0,3	0,3	0,3
m ₃₄	0,3	0,3	0,3
m ₅₆	0,3	0,3	0,3
m ₇₈	0,3	0,3	0,3
m ₉₁₀	0,3	0,3	0,3
m ₁₁₁₂	0,3	0,4	0,4



Прыбываючы расчёт на энергетычнасць.

$$t_p = 3 T_{эм} - \text{время разгона}, \quad T_{эм} = \frac{y_{np} \cdot \omega_{нам}}{M_n - M_{стnp}}$$

$$y_{np} = \frac{M_{длин ступ}}{\epsilon_{внеш} \cdot i_0} = \frac{1,97 \text{ Н} \cdot \text{мм}}{2 \cdot 1400 \text{ (сек}^2)} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{мм} \cdot \text{с}^2$$

$$\omega_{нам} = \frac{n_{нам} \cdot \pi}{30} = \frac{1,4 \cdot 10^4 \cdot \pi}{30} = 1466 \text{ рад/сек} = 24,4 \text{ рад/с}$$

$$T_{эм} = \frac{7 \cdot 10^{-4} \cdot 24,4 \text{ рад/с}}{12 - 89 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{мм}} = 0,0014 \text{ сек} = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ сек}$$

$$\text{Морга: } t_p = 3 \cdot T_{эм} = 3 \cdot 0,0014 = 0,0043 \text{ сек} = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ сек}$$

$$y_{np} = y_p + y_1 + \frac{y_2 + y_3}{i_{1-2}^2} + \frac{y_4 + y_5}{i_{1-3}^2} + \frac{y_6 + y_7}{i_{1-4}^2} + \frac{y_8 + y_9}{i_{1-5}^2} + \frac{y_{10} + y_{11}}{i_{1-6}^2} + \frac{y_{12}}{i_{1-7}^2} + \frac{y_{14}}{i_{1-7}^2}$$

$$j_i = \psi_{em} \cdot \rho \cdot z_i^4 \cdot m_i^5 \cdot 10^{-13}, \quad \psi_{em} = 4; \quad \rho = 7,85 \text{ g/cm}^3$$

$$j_{1-4} = 4 \cdot 7,85 \cdot 20^4 \cdot 0,4^5 \cdot 10^{-13} = 5,14 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \cdot \text{м}^2$$

$$j_{2-5} = 4 \cdot 7,85 \cdot 67^4 \cdot 0,4^5 \cdot 10^{-13} = 6,48 \cdot 10^{-7} \text{ Кл} \cdot \text{м}^2$$

$$i_{1-n} = i_{12} \cdot i_{34} \cdot \dots \cdot i_{(n-1)n}$$

$$i_{1-2} = 3,34$$

$$i_{2-3} = 11,16$$

$$i_{3-4} = 37,26$$

$$i_{4-5} = 124,45$$

$$i_{5-6} = 415,65$$

$$i_{6-7} = 1388,29$$

$$j_{np} = 13 \cdot 10^{-8} + 5,14 \cdot 10^{-9} + \frac{6,48 \cdot 10^{-7} + 5,14 \cdot 10^{-9}}{3,34^2} + \frac{6,53 \cdot 10^{-7}}{11,16^2} +$$

$$+ \frac{6,53 \cdot 10^{-7}}{37,26^2} + \frac{6,53 \cdot 10^{-7}}{124,45^2} + \frac{6,53 \cdot 10^{-7}}{415,65^2} + \frac{6,53 \cdot 10^{-7}}{1388,29^2} + \frac{1}{1388,29^2} =$$

$$= 7,18 \cdot 10^{-7} \text{ Кл} \cdot \text{м}^2$$

$$T_{эм} = \frac{7,18 \cdot 10^{-7} \cdot 24,4}{12 - 89 \cdot 10^{-3}} = 1,47 \cdot 10^{-3} \text{ сек}$$

$$t_p = 3 T_{эм} = 4,41 \cdot 10^{-3} \text{ сек}$$

$$t_b = \frac{j_{np} \cdot w_{ном}}{M_{ем \text{ нуб}}} = \frac{7,18 \cdot 10^{-7} \cdot 24,4}{89 \cdot 10^{-3}} = 1,97 \cdot 10^{-2} \text{ сек}$$

$$\approx \frac{7,18 \cdot 10^{-7} \cdot 24,4}{89} = 19,7 \cdot 10^{-2} \text{ сек} \approx 0,2 \text{ сек}$$

