

Grandininės perdavos projektavimas

Pradiniai duomenys:

$$P_4 = 2140 \text{ W} \quad \text{ir} \quad n_4 = 36,7 \text{ min}^{-1};$$

$$u_{45} = 2,61;$$

perdavos eksploatavimo laikas $t_h = 23700 \text{ h}$;

apkrovos pobūdis: varančiosios mašinos – pastovi apkrova,
varomojo įrenginio – apkrova yra kintama su smūgiais.

Žvaigždučių medžiagos. Numatome žvaigždutes gaminti iš plieno 37Cr4. Žvaigždutės bus termiškai gerinamos, o jų krumpliai grūdinami ADS.

Grandinės parinkimas. Skaičiuotinas vienaėilės grandininės perdavos galingumas:

$$K_{AG} = 1,4;$$

$$K_6 = 0,9^{2-z_z} = 0,9^{2-2} = 1,00;$$

$$C_e = 1,0;$$

$$P'_{sk} = \frac{K_{AG} P_4 K_6}{C_e} = \frac{1,4 \cdot 2140 \cdot 1,00}{1,0} = 2990 \text{ W}.$$

Pagal n_4 ir P'_{sk} parenkame grandinę 20B – 1, kurios parametrai yra:

ρ_g	31,75 mm	K_9	0,0046	B_g	41,2 mm	S_{g1}	3,00 mm
F_B	95 kN	K_{10}	17	d_{g1}	14,63 mm	S_{g2}	2,50 mm
q_g	3,8 kg/m	A_{gr}	296 mm ²	d_{g3}	25,40 mm		
z_g	1	b_{g1}	19,56 mm	h_g	33,40 mm		

Žvaigždučių krumplių skaičius. Minimalus žvaigždutės krumplių skaičius

$$z_{4 \min} = 9 + 0,2 \rho_g = 9 + 0,2 \cdot 31,75 = 15,4; \quad \text{imame } z_{4 \min} = 15.$$

Mažosios žvaigždutės krumplių skaičius:

$$z'_4 = 32 - 2,5 u_{45} = 32 - 2,5 \cdot 2,61 = 25,47; \quad \text{imame } z'_4 = 25;$$

$$z_4 = 6,5 + 0,5 z'_4 + 0,3 \left(\frac{z'_4 \rho_g n_4}{60 \cdot 10^3} - 1 \right) = 6,5 + 0,5 \cdot 25 + 0,3 \left(\frac{25 \cdot 31,75 \cdot 36,7}{60 \cdot 10^3} - 1 \right) = 18,8; \quad \text{imame } z_4 = 19;$$

$$z_4 \geq z_{4 \min} \rightarrow 19 \geq 15.$$

Didžiosios žvaigždutės krumplių skaičius

$$z_5 = z_4 u_{45} = 19 \cdot 2,61 = 49,6; \quad \text{imame } z_5 = 49.$$

Tikrasis perdavimo skaičius

$$u_{23T} = u_{45T} = \frac{z_5}{z_4} = \frac{49}{19} = 2,58;$$

$$\Delta u_{45} = \left| \frac{u_{45T} - u_{45}}{u_{45}} \right| 100\% = \left| \frac{2,58 - 2,61}{2,61} \right| 100\% = 1,19\% \leq 3\%; \quad \Delta u_{45} \leq 3\% \rightarrow 1,19\% \leq 3\%.$$

Linijinis grandinės greitis

$$v = \frac{z_4 \rho_g n_4}{60 \cdot 10^3} = \frac{19 \cdot 31,75 \cdot 36,7}{60 \cdot 10^3} = 0,37 \text{ m/s}.$$

Maksimalus leistinas linijinis grandinės greitis:

$$K_{v_{max}} = \min \left(0,6; 0,3 + \frac{\rho_g}{50,8} \right) = \min \left(0,6; 0,3 + \frac{31,75}{50,8} \right) = \min(0,6; 0,93) = 0,6;$$

$$\rho_{g \text{ red}} = \frac{\rho_g}{25,4} = \frac{31,75}{25,4} = 1,25;$$

			KTU PI	ME2.GP-01.00.AR	Lapas
Keit.	Dokum. Nr.	Data			1

$$v_{adm} = \frac{K_{v_{max}} \pi p_g}{60 \sin\left(\frac{180^\circ}{z_4}\right)} \left(\frac{82,5}{7,95^{p_{g_{red}}} 1,0278^{z_4} 1,323^{\frac{P_4}{4448v}}} \right)^{\frac{1}{1,59 \lg(p_{g_{red}}) + 1,873}} =$$

$$= \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 31,75}{60 \sin\left(\frac{180^\circ}{19}\right)} \left(\frac{82,5}{7,95^{1,25} 1,0278^{19} 1,323^{\frac{2140}{4448 \cdot 0,37}}} \right)^{\frac{1}{1,59 \lg(1,25) + 1,873}} = 9,62 \text{ m/s};$$

$$v \leq v_{max} \rightarrow 0,36 \text{ m/s} \leq 9,62 \text{ m/s}.$$

Lyginamasis slėgis. Perdavos tarpašinis atstumas

$$a \approx 30 p_g = 30 \cdot 31,75 = 952 \text{ mm}.$$

Koeficientas, kuriuo įvertinama trintis

$$K_f = \frac{1}{K_{AG}} \left[0,064 \left(\frac{a}{p_g} \right)^{0,514 - 0,001 u_{45T}} + 3,736 u_{45T}^{0,045} - 3,343 \right] = \frac{1}{1,4} \left[0,064 \left(\frac{952}{31,75} \right)^{0,514 - 0,001 \cdot 2,58} + 3,736 \cdot 2,58^{0,045} - 3,343 \right] = 0,657.$$

Leistinasis lyginamasis slėgis grandinės šarnyruose:

$$z_4 = \min(25; z_4) = \min(25; 19) = 19;$$

$$v' = \max(0,1; v) = \max(0,1; 0,37) = 0,37 \text{ m/s};$$

$$p_{adm} = K_f \left\{ 38,5 - \frac{1}{z_4} \left[158 + 0,5 (z_4')^{1,7} \right] (v')^{0,426 (z_4)^{-0,1}} \right\} = 0,657 \cdot \left\{ 38,5 - \frac{1}{19} \left[158 + 0,5 \cdot 19^{1,7} \right] 0,37^{0,426 \cdot 19^{-0,1}} \right\} = 19,4 \text{ MPa}.$$

Lyginamasis slėgis grandinės šarnyruose

$$p = \frac{P_4 + q_g v^3}{A_{gr} v} = \frac{2140 + 3,8 \cdot 0,37^3}{296 \cdot 0,37} = 19,6 \text{ MPa}.$$

Kadangi $p \leq p_{adm}$ sąlyga netenkinama ($19,6 \text{ MPa} > 19,4 \text{ MPa}$), tai parenkame 24B – 1 grandinę, kurios parametrai yra:

p_g	38,1 mm	K_9	0,0046	B_g	53,4 mm	S_{g1}	6,0 mm
F_B	160 kN	K_{10}	17	d_{g1}	14,63 mm	S_{g2}	5,0 mm
q_g	7,0 kg/m	A_{gr}	554 mm ²	d_{g3}	25,4 mm		
z_g	1	b_{g1}	25,4 mm	h_g	33,4 mm		

Žvaigždučių krumplių skaičius. Minimalus žvaigždutės krumplių skaičius

$$z_{4 \min} = 9 + 0,2 p_g = 9 + 0,2 \cdot 38,1 = 16,6; \text{ imame } z_{4 \min} = 17.$$

Mažosios žvaigždutės krumplių skaičius:

$$z_4 = 6,5 + 0,5 z_4' + 0,3 \left(\frac{z_4' p_g n_4}{60 \cdot 10^3} - 1 \right) = 6,5 + 0,5 \cdot 25 + 0,3 \left(\frac{25 \cdot 38,1 \cdot 36,7}{60 \cdot 10^3} - 1 \right) = 18,9; \text{ imame } z_4 = 19;$$

$$z_4 \geq z_{4 \min} \rightarrow 19 \geq 15.$$

Didžiosios žvaigždutės krumplių skaičius

$$z_5 = z_4 u_{45} = 19 \cdot 2,61 = 49,6; \text{ imame } z_5 = 49.$$

Tikrasis perdavimo skaičius

$$u_{23T} = u_{45T} = \frac{z_5}{z_4} = \frac{49}{19} = 2,58.$$

Kadangi gavome tokį pat u_{45T} , kaip ir perdavos su 20B – 1 grandine, tai $\Delta u_{45T} = 1,19 \% \leq 3 \%.$

Linijinis grandinės greitis

$$v = \frac{z_4 p_g n_4}{60 \cdot 10^3} = \frac{19 \cdot 38,1 \cdot 36,7}{60 \cdot 10^3} = 0,44 \text{ m/s}.$$

Maksimalus leistinas linijinis grandinės greitis:

			KTU PI	ME2.GP-01.00.AR	Lapas
					2
Keit.	Dokum. Nr.	Data			

$$K_{v_{max}} = \min\left(0,6; 0,3 + \frac{p_g}{50,8}\right) = \min\left(0,6; 0,3 + \frac{38,1}{50,8}\right) = \min(0,6; 1,05) = 0,6;$$

$$p_{g_{red}} = \frac{p_g}{25,4} = \frac{38,1}{25,4} = 1,50;$$

$$v_{adm} = \frac{K_{v_{max}} \pi p_g}{60 \sin\left(\frac{180^\circ}{Z_4}\right)} \left(\frac{82,5}{7,95 p_{g_{red}} 1,0278^{Z_4} 1,323^{\frac{P_4}{4 \cdot 448 v}}} \right)^{\frac{1}{1,59 \lg(p_{g_{red}}) + 1,873}} =$$

$$= \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 38,1}{60 \sin\left(\frac{180^\circ}{19}\right)} \left(\frac{82,5}{7,95^{1,50} 1,0278^{19} 1,323^{\frac{2140}{4 \cdot 448 \cdot 0,44}}} \right)^{\frac{1}{1,59 \lg(1,50) + 1,873}} = 9,08 \text{ m/s};$$

$$v \leq v_{max} \rightarrow 0,44 \text{ m/s} \leq 9,08 \text{ m/s}.$$

Lyginamasis slėgis. Perdavos tarpašinis atstumas

$$a \approx 30 p_g = 30 \cdot 38,1 = 1143 \text{ mm}.$$

Koeficientas, kuriuo įvertinama trintis

$$K_f = \frac{1}{K_{AG}} \left[0,064 \left(\frac{a}{p_g} \right)^{0,514 - 0,001 u_{45T}} + 3,736 u_{45T}^{0,045} - 3,343 \right] = \frac{1}{1,4} \left[0,064 \left(\frac{1143}{38,1} \right)^{0,514 - 0,001 \cdot 2,58} + 3,736 \cdot 2,58^{0,045} - 3,343 \right] = 0,657.$$

Leistinasis lyginamasis slėgis grandinės šarnyruose:

$$Z_4 = \min(25; Z_4) = \min(25; 19) = 19;$$

$$v' = \max(0,1; v) = \max(0,1; 0,44) = 0,44 \text{ m/s};$$

$$p_{adm} = K_f \left\{ 38,5 - \frac{1}{Z_4} [158 + 0,5 (Z_4)^{1,7}] (v')^{0,426 (Z_4)^{-0,1}} \right\} = 0,657 \cdot \left\{ 38,5 - \frac{1}{19} [158 + 0,5 \cdot 19^{1,7}] 0,44^{0,426 \cdot 19^{-0,1}} \right\} = 19,1 \text{ MPa}.$$

Lyginamasis slėgis grandinės šarnyruose

$$p = \frac{P_4 + q_g v^3}{A_{gr} v} = \frac{2140 + 7,0 \cdot 0,44^3}{554 \cdot 0,44} = 8,72 \text{ MPa}; \quad p \leq p_{adm} \rightarrow 8,72 \text{ MPa} \leq 19,1 \text{ MPa}.$$

Pagrindiniai žvaigždučių geometriniai parametrai. Pašaknų užapvalinimo spindulys:

$$R_{f_{min}} = 0,505 d_{g3} = 0,505 \cdot 25,40 = 12,8 \text{ mm};$$

$$R_{f_{max}} = 0,505 d_{g3} + 0,069 \sqrt[3]{d_{g3}} = 0,505 \cdot 25,40 + 0,069 \sqrt[3]{25,40} = 13,0 \text{ mm}; \quad \text{imame } R_f = 13 \text{ mm}.$$

Žvaigždučių dalijamieji skersmenys:

$$d_4 = \frac{p_g}{\sin(180^\circ/Z_4)} = \frac{38,1}{\sin(180^\circ/19)} = 231,5 \text{ mm};$$

$$d_5 = \frac{p_g}{\sin(180^\circ/Z_5)} = \frac{38,1}{\sin(180^\circ/49)} = 594,7 \text{ mm}.$$

Žvaigždučių pašaknų skersmenys:

$$d_{f4} = d_4 - 2 R_f = 231,5 - 2 \cdot 13 = 205,5 \text{ mm};$$

$$d_{f5} = d_5 - 2 R_f = 594,7 - 2 \cdot 13 = 568,7 \text{ mm}.$$

Žvaigždučių krumplių viršūnių skersmenys:

$$d_{a4_{min}} = d_4 + 0,5 d_{g3} = 231,5 + 0,5 \cdot 25,4 = 244,2 \text{ mm};$$

$$d_{a4_{max}} = d_4 + 1,25 p_g - d_{g3} = 231,5 + 1,25 \cdot 38,1 - 25,4 = 253,7 \text{ mm};$$

$$d_{a5_{min}} = d_5 + 0,5 d_{g3} = 594,7 + 0,5 \cdot 25,4 = 607,4 \text{ mm};$$

$$d_{a5_{max}} = d_5 + 1,25 p_g - d_{g3} = 594,7 + 1,25 \cdot 38,1 - 25,4 = 616,9 \text{ mm};$$

$$\text{imame } d_{a4} = 250 \text{ mm} \text{ ir } d_{a5} = 610 \text{ mm}.$$

			KTU PI	ME2.GP-01.00.AR	Lapas
Keit.	Dokum. Nr.	Data			3

Krumplių viršūnių galinių paviršių užapvalinimo spindulys:

$$r_x = 1,5 d_{g1} = 1,5 \cdot 14,63 = 21,9 \text{ mm}; \text{ imame } r_x = 22 \text{ mm}.$$

Žvaigždučių krumplių pločiai:

$$b = C_b b_{g1} = 0,95 \cdot 25,40 = 24,13 \text{ mm}; \text{ imame } b = 24 \text{ mm};$$

$$b_{a \min} = b - 0,3 d_{g3} = 24 - 0,3 \cdot 25,40 = 16,4 \text{ mm};$$

$$b_{a \max} = b - 0,2 d_{g3} = 24 - 0,2 \cdot 25,40 = 18,9 \text{ mm}; \text{ imame } b_a = 18 \text{ mm}.$$

Tarpašinis atstumas

$$a = (30 \dots 50) p_g = (30 \dots 50) \cdot 38,1 = 1143 \dots 1905 \text{ mm}; \text{ imame } a = 1200 \text{ mm}.$$

Grandinės narelių skaičius

$$w = \frac{2a}{p_g} + \frac{z_4 + z_5}{2} + \frac{p_g}{a} \left(\frac{z_5 - z_4}{2\pi} \right)^2 = \frac{2 \cdot 1200}{38,1} + \frac{19 + 49}{2} + \frac{38,1}{1200} \left(\frac{49 - 19}{2\pi} \right)^2 = 97,7; \text{ imame } w = 98.$$

Tikrasis tarpašinis atstumas:

$$w - (z_4 + z_5)/2 = 98 - (19 + 49)/2 = 64;$$

$$a_{sk} = \frac{p_g}{4} \left\{ w - \frac{z_4 + z_5}{2} + \sqrt{\left(w - \frac{z_4 + z_5}{2} \right)^2 + 2 \left(\frac{z_5 - z_4}{\pi} \right)^2} \right\} = \frac{38,1}{4} \left\{ 64 + \sqrt{64^2 + 2 \left(\frac{49 - 19}{\pi} \right)^2} \right\} = 1234 \text{ mm};$$

$$a_T = (0,996 \dots 0,998) a_{sk} = (0,996 \dots 0,998) \cdot 1234 = 1228 \dots 1230 \text{ mm}; \text{ imame } a_T = 1230 \text{ mm}.$$

Tikriname $0,7 (d_{a4} + d_{a5}) \leq a_T \leq 160 p_g$ sąlygą:

$$0,7 (250 + 610) \leq 1230 \leq 160 \cdot 38,1; \quad 602 \text{ mm} \leq 1230 \text{ mm} \leq 6096 \text{ mm} - \text{sąlyga tenkinama}.$$

Perdavos jėginiai parametrai. Apskritiminė jėga

$$F_t = \frac{P_4}{v} = \frac{2140}{0,44} = 4830 \text{ N}.$$

Išcentrinė jėga

$$F_c = q_g v^2 = 7,0 \cdot 0,44^2 = 1,37 \text{ N}.$$

Kadangi 5 žvaigždutės išorinis spindulys (305 mm) daug didesnis už reduktoriaus lėtaeigio veleno aukštį nuo bazinio paviršiaus (112 mm), tai numatome, kad 4 ir 5 žvaigždučių tarpcentrinės linijos posvyrio kampas bus $j \approx 5^\circ$.

Grandinę veikianti jėga dėl grandinės įsvyrio (santykinis grandinės įsvyris $f_s = 0,02$):

$$C \approx \left(1 - \frac{1}{8 f_s} \right) 90^\circ + \frac{1}{8 f_s} = \left(1 - \frac{1}{8 \cdot 0,02} \right) 90^\circ + \frac{1}{8 \cdot 0,02} = 5,96;$$

$$F_f = \frac{g C q_g a_T}{1000} = \frac{9,81 \cdot 5,96 \cdot 7,0 \cdot 1490}{1000} = 71,9 \text{ N}.$$

Velenus veikianti jėga:

$$K_d = 1,15 \cdot 1,1 = 1,27; \quad (\text{apkrova yra kintama su smūgiais})$$

$$F_G = K_d F_t + 2 F_f = 1,27 \cdot 4830 + 2 \cdot 71,9 = 6250 \text{ N}.$$

Galingumo korekcijos koeficientai. Mažosios žvaigždutės krumplių skaičiaus koeficientas

$$K_1 = \frac{20}{1 + z_4} = \frac{20}{1 + 19} = 1,00.$$

Perdavimo skaičiaus koeficientas

$$K_2 = 1,25 u_{45T}^{-0,2} = 1,25 \cdot 2,58^{-0,2} = 1,03.$$

Tarpašinio atstumo koeficientas

$$K_3 = \max(0,7; 2,52 a_T^{-0,25}) = \max(0,7; 2,52 \cdot 1230^{-0,25}) = \max(0,7; 0,43) = 0,7.$$

Tepimo būdo koeficientas (neperiodinis tepimas neužterštoje aplinkoje) $K_4 = 1,50$.

Grandinės galų sujungimo koeficientas (grandinės narelių skaičius yra lyginis) $K_5 = 1,00$.

Darbinės perdavos temperatūros koeficientas

$$K_7 = \max(1,0; 0,0012 T + 0,9) = \max(1,0; 0,0012 \cdot 20 + 0,9) = \max(1,0; 1,00) = 1,00.$$

			KTU PI	ME2.GP-01.00.AR	Lapas
					4
Keit.	Dokum. Nr.	Data			

Ilgamžiškumo koeficientas

$$K_8 = \left(\frac{15\,000}{t_h} \right)^{-0,4} = \left(\frac{15\,000}{23\,700} \right)^{-0,4} = 1,20.$$

Perduodamas grandinės galingumas. Grandinės narelių leistinasis galingumas

$$P_{gn\,adm} = 745,7 K_9 Z_4^{1,06} n_4^{0,9} p_{g\,red}^{3,25-0,11} = 745,7 \cdot 0,0046 \cdot 19^{1,06} \cdot 36,7^{0,9} \cdot 1,5^{3,25-0,11 \cdot 1,5} = 6\,950\text{ W}.$$

Grandinės ritinėlių leistinasis galingumas

$$P_{gr\,adm} = 745,7 \cdot 10^3 K_{10} \left(\frac{Z_4}{n_4} \right)^{1,6} p_{g\,red}^{0,38} \left(\frac{15\,000}{t_h} \right)^{0,4} = 745,7 \cdot 10^3 \cdot 17 \cdot \left(\frac{19}{36,7} \right)^{1,6} \cdot 1,5^{0,38} \cdot \left(\frac{15\,000}{23\,700} \right)^{0,4} = 4\,306 \cdot 10^3\text{ W}.$$

Leistinasis grandininės perdavos galingumas

$$P_{adm} = C_e \min(P_{gn\,adm}; P_{gr\,adm}) = 1,0 \cdot \min(6\,950; 4\,306 \cdot 10^3) = 6\,950\text{ W}.$$

Grandinės galingumas

$$P_{sk} = K_{AG} P_4 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 K_8 = 1,40 \cdot 2\,136 \cdot 1,00 \cdot 1,03 \cdot 0,70 \cdot 1,50 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,20 = 3\,880\text{ W};$$

$$P_{sk} \leq P_{adm} \rightarrow 3\,880\text{ W} \leq 6\,950\text{ W}.$$

Grandinės stiprumo atsarga. Mažiausias statinis atsargos koeficientas:

$$p'_{g\,red} = \min(50; p_g) / 25,4 = \min(50; 38,1) / 25,4 = 1,5;$$

$$S_{g\,adm\,S} = 11,8 - 0,44 (p_g - 8)^{0,5} + (21,4 p'_{g\,red}^{-0,3} - 13,4) v^{0,07 (3 p'_{g\,red} - 1)} \operatorname{th} \left[(0,154 p'_{g\,red} - 0,052 p'_{g\,red}^{2,6}) v^{0,244 p'_{g\,red}^4 - p'_{g\,red} + 1,65} \right] =$$

$$= 11,8 - 0,44 (38,1 - 8)^{0,5} + (21,4 \cdot 1,5^{-0,3} - 13,4) \cdot 0,44^{0,07 (3 \cdot 1,5 - 1)} \operatorname{th} \left[(0,154 \cdot 1,5 - 0,052 \cdot 1,5^{2,6}) \cdot 0,44^{0,244 \cdot 1,5^4 - 1,5 + 1,65} \right] = 9,49.$$

Mažiausias dinaminis atsargos koeficientas

$$S_{g\,adm\,D} = (0,0004 p_g^2 + 7,6) n_4^{0,1} = (0,0004 \cdot 38,1^2 + 7,6) \cdot 36,7^{0,1} = 11,7.$$

Grandinės stiprumo atsargos koeficientai:

$$S_{g\,S} = \frac{F_B}{F_t + F_c + F_f} = \frac{160\,000}{4\,830 + 1,37 + 71,9} = 32,6; \quad S_{g\,S} \geq S_{g\,adm\,S} \rightarrow 32,6 \geq 9,49;$$

$$S_{g\,D} = \frac{F_B}{K_{AG} (F_t + F_c + F_f)} = \frac{160\,000}{1,4 \cdot (4\,830 + 1,37 + 71,9)} = 23,3; \quad S_{g\,D} \geq S_{g\,adm\,D} \rightarrow 23,3 \geq 11,7.$$

			KTU PI	ME2.GP-01.00.AR	Lapas
					5
Keit.	Dokum. Nr.	Data			