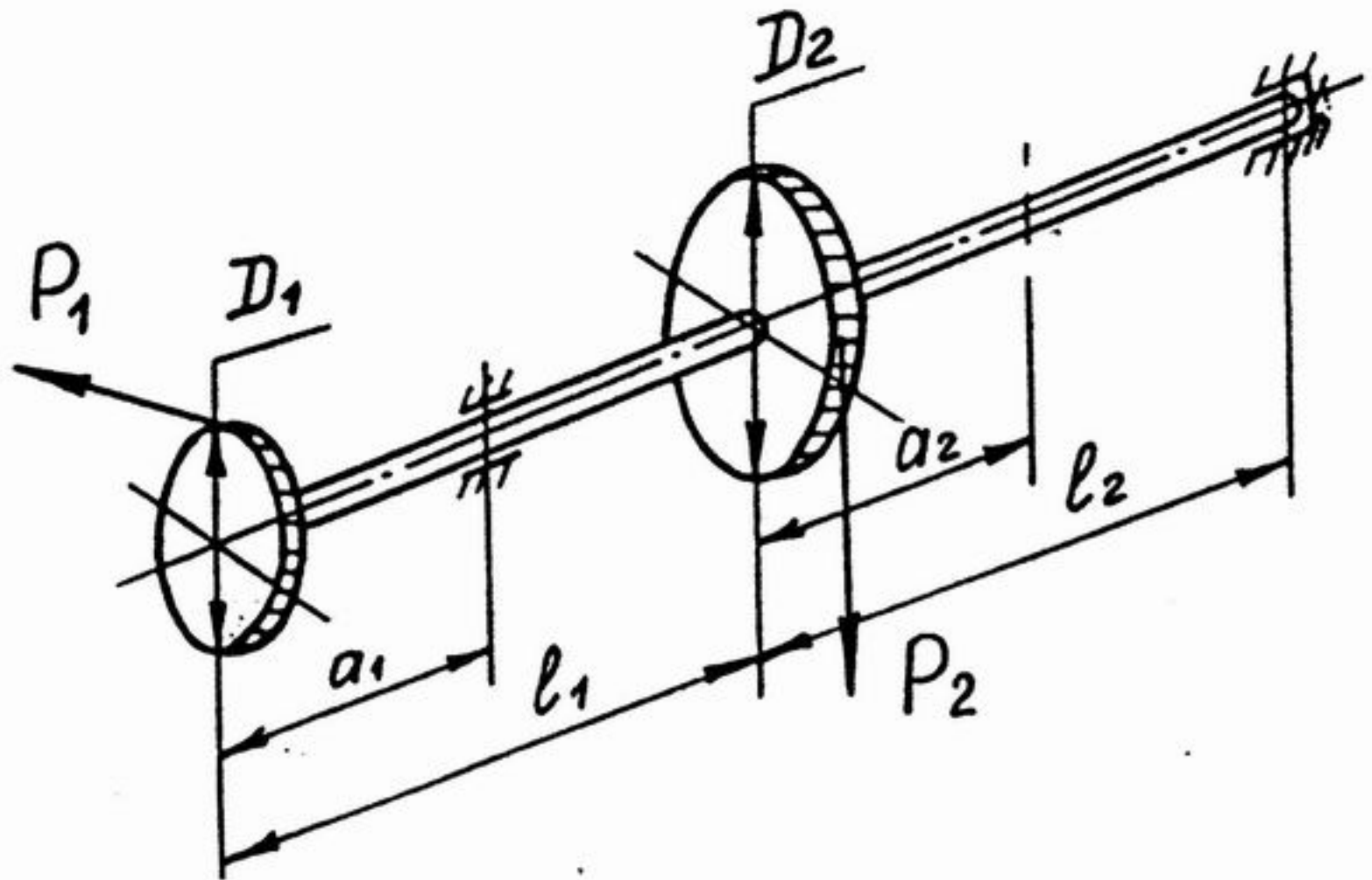


1.



Исходные данные

Мощность, передаваемая валом: $N = 7.5 \text{ кВт}$

Частота вращения вала: $n_0 := 500 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$

Диаметр первого диска: $D_1 := 0.25 \text{ м}$

Ширина первого диска: $b_1 := 0.1 \cdot D_1 \quad b_1 = 0.1 \cdot 0.25 \quad b_1 = 0.025 \text{ м}$

Диаметр второго диска: $D_2 := 0.30 \text{ м}$

Ширина второго диска: $b_2 := 0.2 \cdot D_2 \quad b_2 = 0.2 \cdot 0.3 \quad b_2 = 0.06 \text{ м}$

Расстояние между первым и вторым диском по оси вала: $l_1 := 0.50 \text{ м}$

Расстояние после второго диска до окончания вала: $l_2 := 0.85 \text{ м}$

Расстояние от первого диска до опоры: $a_1 := 0.25 \text{ м}$

Расстояние: $a_2 := 0.30 \text{ м}$

Марка стали (заданась): **Сталь 35**

Расчёт по критерию: **Мизеса**

Решение

Создаваемый крутящий момент на валу: $M_z = \frac{N}{\omega}$

где $\omega := \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60 \cdot \frac{\text{с}}{\text{мин}}}$ $\omega = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 500}{60}$ $\omega = 52.36 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$

$M_z := \frac{N}{\omega}$ $M_z = \frac{7500}{52.36}$ $M_z = 143.2 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Первый диск

Определяем усилие P_1

$m = P_1 \cdot \frac{D_1}{2}$ отсюда $P_1 := \frac{2 \cdot M_z}{D_1}$

$P_1 = \frac{2 \cdot 143.2}{0.25}$ $P_1 = 1.146 \times 10^3 \text{ Н}$

Второй диск

Определяем усилие P_2

$m = P_2 \cdot \frac{D_2}{2}$ отсюда $P_2 := \frac{2 \cdot M_z}{D_2}$

$P_2 = \frac{2 \cdot 143.2}{0.3}$ $P_2 = 954.9 \text{ Н}$

Определение опорных реакций

$\sum \text{momB} = 0$

$A_y \cdot (l_1 - a_1 + l_2) - P_2 \cdot l_2 = 0$

$A_y := \frac{P_2 \cdot l_2}{l_1 - a_1 + l_2}$

$A_y = \frac{954.9 \cdot 0.85}{0.5 - 0.25 + 0.85}$

$A_y = 737.9 \text{ Н}$

$\sum \text{momA} = 0$

$B_y \cdot (l_2 + l_1 - a_1) - P_2 \cdot (l_1 - a_1) = 0$

$B_y := \frac{P_2 \cdot (l_1 - a_1)}{l_2 + l_1 - a_1}$

$B_y = \frac{954.9 \cdot (0.5 - 0.25)}{0.85 + 0.5 - 0.25}$

$B_y = 217 \text{ Н}$

Проверка $A_y + B_y - P_2 = 0 \text{ Н}$ $737.9 + 217 - 954.9 = 0$ верно

Расчёт моментов относительно оси X

Момент в сечении 2: $M_{x2} := P_2 \cdot l_2$ $M_{x2} = 954.9 \cdot 0.85$ $M_{x2} = 811.7 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Момент в сечении 1: $M_{x1} := 0 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Определение опорных реакций

$\sum \text{momB} = 0$

$A_x \cdot (l_2 + l_1 - a_1) - P_1 \cdot (l_1 + l_2) = 0$

$A_x := \frac{P_1 \cdot (l_1 + l_2)}{l_2 + l_1 - a_1}$

$A_x = \frac{1.146 \times 10^3 \cdot (0.5 + 0.85)}{0.85 + 0.5 - 0.25}$

$A_x = 1.406 \times 10^3 \text{ Н}$

$\sum \text{momA} = 0$

$B_x \cdot (l_2 + l_1 - a_1) - P_1 \cdot a_1 = 0$

$B_x := \frac{P_1 \cdot a_1}{l_2 + l_1 - a_1}$

$B_x = \frac{1.146 \times 10^3 \cdot 0.25}{0.85 + 0.5 - 0.25}$

$B_x = 260.4 \text{ Н}$

Проверка $A_x - B_x - P_1 = 0 \text{ Н}$ $1.406 \times 10^3 - 260.4 - 1.146 \times 10^3 = 0$ верно

Расчёт моментов относительно оси Y

Момент в сечении 1: $M_{y1} := P_1 \cdot (l_1 + l_2) - A_x \cdot (l_2 + l_1 - a_1)$

$M_{y1} = 1.146 \cdot 10^3 \cdot (0.5 + 0.85) - 1.406 \times 10^3 \cdot (0.85 + 0.5 - 0.25)$ $M_{y1} = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Момент в сечении A: $M_{y_A} := -A_x \cdot (l_2 + l_1 - a_1)$

$M_{y_A} = -1.406 \times 10^3 \cdot (0.85 + 0.5 - 0.25)$ $M_{y_A} = -1.547 \times 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Момент в сечении 2: $\frac{M_{y_A}}{(l_2 + l_1 - a_1)} = \frac{M_{y2}}{l_2}$

$M_{y2} = \frac{M_{y_A} \cdot l_2}{l_2 + l_1 - a_1}$ $M_{y2} = \frac{(-1.547 \times 10^3) \cdot 0.85}{0.85 + 0.5 - 0.25}$ $M_{y2} = -1.195 \times 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Определение диаметра вала из условия прочности

Сечение 1: $M_{\text{изг}_1} := \sqrt{M_{x1}^2 + M_{y1}^2}$ $M_{\text{изг}_1} = \sqrt{0^2 + 0^2}$ $M_{\text{изг}_1} = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Сечение 2: $M_{\text{изг}_2} := \sqrt{M_{x2}^2 + M_{y2}^2}$ $M_{\text{изг}_2} = \sqrt{811.7^2 + (-1.195 \times 10^3)^2}$

$M_{\text{изг}_2} = 1.445 \times 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Вывод: опасное сечение - сечение 2.

Определяем диаметр вала по сечению 2

$M_{\text{экв_Мизес}} := \sqrt{M_{x2}^2 + M_{y2}^2 + \frac{3}{4} \cdot M_z^2}$ $M_{\text{экв_Мизес}} = \sqrt{811.7^2 + (-1.195 \times 10^3)^2 + \frac{3}{4} \cdot 143.2^2}$

$M_{\text{экв_Мизес}} = 1.45 \times 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$

Условие прочности: $\sigma_{\text{экв}} = \frac{M_{\text{экв_Мизес}}}{W_{\text{изг}}} = \frac{M_{\text{экв_Мизес}}}{\left(\frac{\pi \cdot d^3}{32}\right)} \leq (\sigma)$

Предел текучести для заданной стали 35: $\sigma_T := 280 \text{ МПа}$

Нормативный коэффициент запаса прочности: $(n) := 2.5$

Допустимое напряжение: $(\sigma) := \frac{\sigma_T}{(n)}$ $(\sigma) = \frac{280}{2.5}$ $(\sigma) = 112 \text{ МПа}$

Расчёт диаметра вала: $d \leq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{экв_Мизес}}}{\pi \cdot (\sigma)}}$

$d := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{экв_Мизес}}}{\pi \cdot (\sigma)}}$ $d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot (1.45 \times 10^3)}{\pi \cdot 112}}$ $d = 0.0509 \text{ м}$

Диаметр вала округляю до ближайшего большего значения по ГОСТу: $d = 0.055 \text{ м}$

Проверочный расчёт на выносливость

Амплитуда цикла: $\sigma_a := \frac{M_{\text{изг}_2}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}}$ $\sigma_a = \frac{(1.445 \times 10^3)}{\frac{\pi \cdot 0.055^3}{32}}$ $\sigma_a = 88.46 \text{ МПа}$

Расчёт коэффициента запаса

Отношение минимального напряжения к максимальному (по материалу): $\sigma_{-1} := 220 \text{ МПа}$

Коэффициент, учитывающий упрочнение: $K_V := 1$

Коэффициент масштабного эффекта: $K_{d\sigma} := 0.8 + \frac{0.72 - 0.8}{60 - 40} \cdot (55 - 40)$ $K_{d\sigma} = 0.74$

$K_a := 1$

Эффективный коэффициент концентраций напряжений по значению: $\sigma_B := 520 \text{ МПа}$

$K_{\sigma} := 2 + \frac{2.2 - 2}{600 - 500} \cdot (520 - 500)$ $K_{\sigma} = 2.04$

Коэффициент качества обработки поверхности вала (принимаю): $K_{F\sigma} := 0.9$

Коэффициент запаса: $K := \left(\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_V \cdot K_a}$ $K = \left(\frac{2.04}{0.74} + \frac{1}{0.9} - 1\right) \cdot \frac{1}{1 \cdot 1}$ $K = 2.868$

Коэффициент запаса по нормальным напряжениям:

$n_{\sigma} := \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_a}$ $n_{\sigma} = \frac{220}{2.868 \cdot 88.46}$ $n_{\sigma} = 0.867$ $n_{\sigma} < 1$

Коэффициент запаса на текучесть: $n_{\sigma T} := \frac{\sigma_T}{\sigma_a}$ $n_{\sigma T} = \frac{280}{88.46}$ $n_{\sigma T} = 3.165$

Коэффициент запаса по касательным напряжениям:

$\max_{\tau} := \frac{M_z}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}}$ $\max_{\tau} = \frac{143.2}{\frac{\pi \cdot 0.055^3}{16}}$ $\max_{\tau} = 4.385 \text{ МПа}$

По заданному материалу: $\tau_T := 150 \text{ МПа}$

$n_{\tau} := \frac{\tau_T}{\max_{\tau}}$ $n_{\tau} = \frac{150}{4.385}$ $n_{\tau} = 34.21$

Расчёт общего коэффициента запаса: $n := \frac{n_{\sigma} \cdot n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 + n_{\tau}^2}}$ $n = \frac{0.867 \cdot 34.21}{\sqrt{0.867^2 + 34.21^2}}$ $n = 0.867$

Фактический коэффициент запаса прочности должен находиться в пределах $n = 1.4 - 1.7$

для выполнения этого условия необходимо увеличить диаметр вала.

Заданьсь новым значением диаметра вала: $d = 0.070 \text{ м}$

Проверочный расчёт на выносливость $d = 0.07 \text{ м}$

Амплитуда цикла: $\sigma_a := \frac{M_{\text{изг}_2}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}}$ $\sigma_a = \frac{(1.445 \times 10^3)}{\frac{\pi \cdot 0.070^3}{32}}$ $\sigma_a = 42.91 \text{ МПа}$

Расчёт коэффициента запаса

Отношение минимального напряжения к максимальному (по материалу): $\sigma_{-1} := 220 \text{ МПа}$

Коэффициент, учитывающий упрочнение: $K_V := 1$

Коэффициент масштабного эффекта: $K_{d\sigma} := 0.72 + \frac{0.6 - 0.72}{100 - 60} \cdot (70 - 60)$ $K_{d\sigma} = 0.69$

$K_a := 1$

Эффективный коэффициент концентраций напряжений по значению: $\sigma_B := 520 \text{ МПа}$

$K_{\sigma} := 2 + \frac{2.2 - 2}{600 - 500} \cdot (520 - 500)$ $K_{\sigma} = 2.04$

Коэффициент качества обработки поверхности вала (принимаю): $K_{F\sigma} := 0.9$

Коэффициент запаса: $K := \left(\frac{K_{\sigma}}{K_{d\sigma}} + \frac{1}{K_{F\sigma}} - 1\right) \cdot \frac{1}{K_V \cdot K_a}$ $K = \left(\frac{2.04}{0.69} + \frac{1}{0.9} - 1\right) \cdot \frac{1}{1 \cdot 1}$ $K = 3.068$

Коэффициент запаса по нормальным напряжениям:

$n_{\sigma} := \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_a}$ $n_{\sigma} = \frac{220}{3.068 \cdot 42.91}$ $n_{\sigma} = 1.671$

Коэффициент запаса на текучесть: $n_{\sigma T} := \frac{\sigma_T}{\sigma_a}$ $n_{\sigma T} = \frac{280}{42.91}$ $n_{\sigma T} = 6.525$

Коэффициент запаса по касательным напряжениям:

$\max_{\tau} := \frac{M_z}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}}$ $\max_{\tau} = \frac{143.2}{\frac{\pi \cdot 0.07^3}{16}}$ $\max_{\tau} = 2.127 \text{ МПа}$

По заданному материалу: $\tau_T := 150 \text{ МПа}$

$n_{\tau} := \frac{\tau_T}{\max_{\tau}}$ $n_{\tau} = \frac{150}{2.127}$ $n_{\tau} = 70.53$

Расчёт общего коэффициента запаса: $n := \frac{n_{\sigma} \cdot n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 + n_{\tau}^2}}$ $n = \frac{1.671 \cdot 70.53}{\sqrt{1.671^2 + 70.53^2}}$ $n = 1.671$

Фактический коэффициент запаса прочности находится в пределах $n = 1.4 - 1.7$

что удовлетворяет требованиям задания.

Также для достижения необходимого коэффициента запаса прочности, можно было бы попробовать изменить материал, из которого изготовлен вал на материал с более высокими прочностными характеристиками.