

# ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

## МОДУЛЬ №1

### Задача № 1

Определить динамические нагрузки в вале механизма, имеющего радиальный зазор  $\theta$ . Механизм приведен к двухмассовой расчетной схеме (рис. ). Определить величину действующих напряжений.

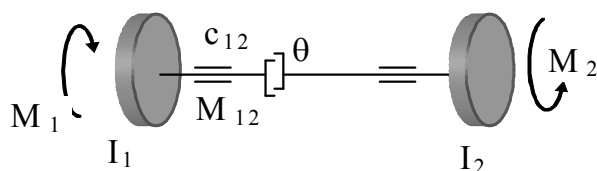


Рисунок – Расчётная схема

#### Исходные данные:

законы изменения внешних нагрузок:  $M_1(t) = \text{const}$ ;  $M_2(t) = \text{const}$ ;  $M_1 = 30$  кН·м;  $M_2 = -20$  кН·м;  $I_1 = 10000$  кг·м<sup>2</sup>;  $I_2 = 4000$  кг·м<sup>2</sup>; диаметр вала  $d = 200$  мм, длина вала  $l = 2$  м; величина приведенного радиального зазора  $\theta = 0,03$  рад.

#### Ход решения

1 Значение статического (амплитудного) момента технологического сопротивления:

$$M_a = \frac{I_1 M_2 + I_2 M_1}{I_1 + I_2} = \frac{10000 \cdot 20 + 4000 \cdot 30}{10000 + 4000} = 22,86 \text{ кН·м.}$$

2 Коэффициент жёсткости вала

$$c = \frac{G I_p}{l} = \frac{0,82 \cdot 10^5 \cdot 25,13 \cdot 10^5}{2000} = 0,1030 \cdot 10^9 \text{ Н·мм/рад} = 103 \text{ кН·м/рад}$$

где  $I_p = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi \cdot 200^4}{2000} = 25,13 \cdot 10^5 \text{ мм}^4$  – полярный момент инерции сечения

вала;  $G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{2,1 \cdot 10^5}{2(1+0,3)} = 0,82 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$  – модуль упругости второго рода для стали;  $E$  – модуль упругости первого рода;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

3 Частота собственных колебаний системы

$$p = \sqrt{c \frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2}} = \sqrt{103 \cdot 10^3 \frac{10000 + 4000}{10000 \cdot 4000}} = 6,0 \text{ с}^{-1}.$$

4 Угловая скорость к концу выборки зазора

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{2 M_1 \theta}{I_1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 30 \cdot 10^3 \cdot 0,03}{10000}} = 0,135 \text{ с}^{-1}.$$

5 Коэффициент динамичности:

$$K_D = M_{12\max} / M_a = 1 + \sqrt{1 + \left( \frac{\omega_0 c}{M_{ap}} \right)^2} = 1 + \sqrt{1 + \left( \frac{0,135 \cdot 103}{22,86 \cdot 6} \right)^2} = 2,28.$$

6 Максимальное значение момента технологического сопротивления, возникающего в упругой связи системы (вале),

$$M_{12\max} = K_D M_a = 2,28 \cdot 22,86 = 52,12 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

7 Максимальные напряжения в вале

$$\tau_{\max} = \frac{M_{12\max}}{0,2 d^3} = \frac{52,12 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 0,2^3} = 32,6 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 = 32,6 \text{ Н/мм}^2.$$

## МОДУЛЬ №2

### Задача № 2

Определить напряжения при ударе в механической системе (рис.). Массой балки пренебречь.

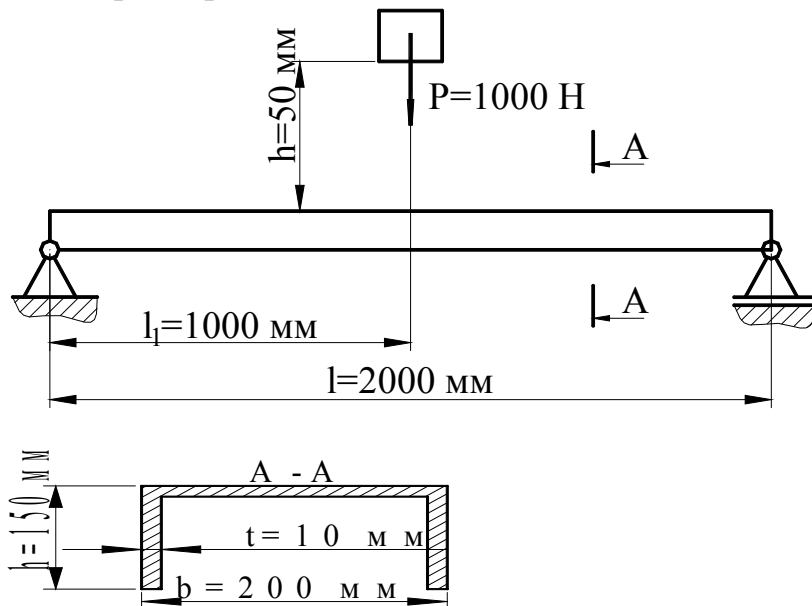


Рисунок – Расчётная схема

### Ход решения

1 Определяем параметры сечения балки. Примем за начало отсчёта линию, проходящую через центр тяжести прямоугольника размерами  $200 \times 10$  мм. Тогда вертикальная координата центра тяжести фигуры будет равна

$$y_c = \frac{\sum S_x}{\sum F_x} = \frac{b t 0 + (h - t) 2t ((h - t)/2 + t/2)}{b t + (h - t) 2t} =$$

$$= \frac{0 + (150 - 10) \cdot 2 \cdot 10 \cdot (140/2 + 10/2)}{200 \cdot 10 + (150 - 10) \cdot 2 \cdot 10} = 43,75 \text{ мм.}$$

Момент инерции сечения балки

$$I = \sum (I_i + a_i^2 F_i) = \frac{b t^3}{12} + y_c^2 b t + \frac{t(h - t)^3}{12} + \left( \frac{h}{2} - \frac{t}{2} - y_c \right)^2 (h - t) 2t =$$

$$= \frac{200 \cdot 10^3}{12} + 43,75^2 \cdot 200 \cdot 10 + \frac{10 \cdot 140^3}{12} + (75 - 5 - 43,75)^2 \cdot 140 \cdot 2 \cdot 10 =$$

$$= 806 \cdot 10^4 \text{ мм}^4 = 806 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления сечения балки

$$W = I / y_{\max} = I / (h - t/2 - y_c) = 806 / (15 - 0,5 - 4,375) = 79,61 \text{ см}^3.$$

2 Прогиб посередине балки от статического действия силы P

$$\Delta_{\text{ст}} = \frac{P l^3}{48 E I} = \frac{1000 \cdot 2000^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 806 \cdot 10^4} = 1,575 \text{ мм.}$$

3 Коэффициент динамичности

$$K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta_{ст}}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 50}{1,575}} = 9,029.$$

4 Наибольший изгибающий момент от статического действия силы Р  
 $M = P/2 \cdot l/2 = 1000/2 \cdot 2/2 = 500 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

5 Максимальные нормальные напряжения от статического действия силы Р:

$$\sigma_{ст} = M/W = 500 \cdot 10^3 / 79,61 \cdot 10^3 = 6,28 \text{ Н/мм}^2.$$

6 Максимальные нормальные напряжения от динамического действия силы Р

$$\sigma = \sigma_{ст} K_d = 6,28 \cdot 9,029 = 56,7 \text{ Н/мм}^2.$$