

## Результаты расчета

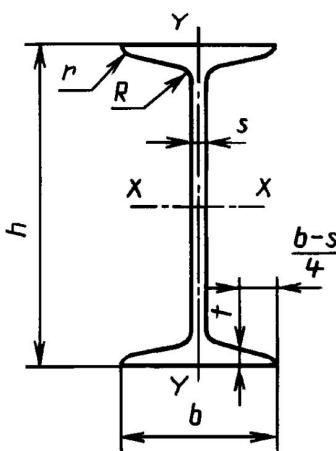
**Шаг 1:** Расчёт требуемого момента сопротивления:

$$W_{\min} = \frac{|M_{\max}|}{[\sigma]}$$

$$W_{\min} = \frac{30 \times 10^3}{160 \times 10^6} = 0.18750 \times 10^{-3} \text{ м}^3 = 187.5 \text{ см}^3$$

**Шаг 2:** Подбор профиля

По результатам расчета, минимальным подходящим профилем согласно стандарту **ГОСТ 8239-89 Балки двутавровые стальные горячекатаные** является **Двутавр №20а**. Его геометрические характеристики представлены в таблице:



Номер двутавра	Размеры, мм							Площадь поперечного сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1 м, кг	Справочные значения для осей					
	не более				X-X		Y-Y								
	h	b	s	t	R	r	$I_x$ , см <sup>4</sup>	$W_x$ , см <sup>3</sup>	$i_x$ , см	$S_x$ , см <sup>3</sup>	$I_y$ , см <sup>4</sup>	$W_y$ , см <sup>3</sup>	$i_y$ , см		
20а	200	110	5.2	8.6	9.5	4	28.9	22.7	2030	203	8.37	114	155	28.2	2.32

**Шаг 3:** Расчёт максимального напряжения:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{30 \times 10^3}{203 \times 10^{-6}} = 147.78 \times 10^6 \text{ Па} = 147.78 \text{ МПа} < [\sigma] = 160$$

Максимальные нормальные напряжения выбранного номера двутавра не превышают допустимых значений, значит сечение подобрано верно.

## Расчёт нормальных напряжений:

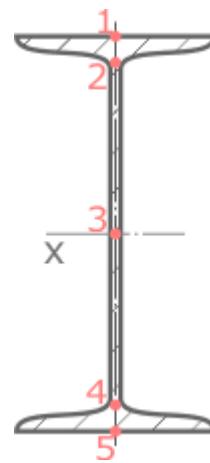
Нормальные напряжения  $\sigma$  в произвольной точке поперечного сечения балки рассчитываются по формуле:

$$\sigma_x = \frac{M \cdot y}{I_x}$$

где:

- $M_x$  – величина изгибающего момента в соответствующем сечении:  $M_x = 30 \text{ кН}\cdot\text{м} = 30 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;
- $I_x$  – момент инерции сечения относительно оси  $X$ :  $I_x = 2030 \text{ см}^4$ ;
- $y$  – расстояние от оси  $X$  до рассматриваемой точки.

Для построения эпюры нормальных и касательных напряжений достаточно рассчитать напряжения в следующих характерных точках:



- Точка 1 (верхняя граница сечения,  $y = \frac{h}{2} = \frac{200 \text{ мм}}{2} = 100 \text{ мм}$ ):

$$\sigma_1 = \frac{M_x \cdot y}{I_x} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{2030 \cdot 10^{-8}} = 147.78 \cdot 10^6 \text{ Па} = 147.78 \text{ МПа}$$

- Точка 5 (нижняя граница сечения,  $y = -\frac{h}{2} = -100 \text{ мм}$ ):

$$\sigma_5 = -\sigma_1 = -147.78 \text{ МПа}$$

- Точка 3 (центр тяжести,  $y = 0$ ):

$$\sigma_3 = 0 \text{ МПа}$$

- Точка 2 (переход стенка-полка, верх,  $y = \frac{h}{2} - t = 100 - 8.6 = 91.4 \text{ мм}$ ):

$$\sigma_2 = \frac{M_x \cdot y}{I_x} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 91.4 \cdot 10^{-3}}{2030 \cdot 10^{-8}} = 135.07 \cdot 10^6 \text{ Па} = 135.07 \text{ МПа}$$

- Точка 4 (переход стенка-полка, низ,  $y = -\left(\frac{h}{2} - t\right) = -91.4 \text{ мм}$ ):

$$\sigma_4 = \frac{M_x \cdot y}{I_x} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot (-91.4) \cdot 10^{-3}}{2030 \cdot 10^{-8}} = -135.07 \cdot 10^6 \text{ Па} = -135.07 \text{ МПа}$$

Эпюра нормальных напряжений будет представлять собой прямую линию, соединяющую точки 1, 2, 3, 4, 5.

# Расчёт касательных напряжений:

Начнем с крайних точек.

Статический момент в формуле Журавского одним из множителей включает в себя площадь сечения, расположенную за рассматриваемой точкой.

Выше точки 1 и ниже точки 5 площадь сечения равна нулю, поэтому касательных напряжений там нет:

$$\tau_1 = \tau_5 = 0 \text{ (т.к. } S_x = 0)$$

## 1. Максимальные напряжения в точке 3:

Максимальные напряжения следует ожидать в точке 3, потому что относительно неё будет самый большой статический момент. Его принимаем из сортамента:

$$\tau_{\max} = \tau_3 = \frac{Q \cdot S_x}{I_x \cdot s} = \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 114 \cdot 10^{-6}}{2030 \cdot 10^{-8} \cdot 5.2 \cdot 10^{-3}} = 21.6 \cdot 10^6 \text{ Па} = 21.6 \text{ МПа}$$

## 2. Расчёт статического момента полки:

Для нахождения напряжений в точках 2 и 4 необходимо рассчитать статический момент полки двутавра:



$$S_x = b \cdot t \cdot \frac{h - t}{2} = 110 \cdot 8.6 \cdot \frac{200 - 8.6}{2} = 90.53 \text{ см}^3$$

## 3. Напряжение в полке (точки 2 и 4):

Для расчёта напряжения в полке (точки 2 и 4) в знаменатель формулы Журавского подставляем ширину полки  $b$ :

$$\tau_2^n = \tau_4^n = \frac{Q \cdot S_x^n}{I_x \cdot b} = \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 90.53 \cdot 10^{-6}}{2030 \cdot 10^{-8} \cdot 110 \cdot 10^{-3}} = 0.81 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0.81 \text{ МПа}$$

## 4. Напряжение в стенке (под точками 2 и 4):

Для расчёта напряжения под точкой 2 (и аналогично под точкой 4) подставляем толщину стенки  $s$ :

$$\tau_2^c = \tau_4^c = \frac{Q \cdot S_x^n}{I_x \cdot s} = \frac{20 \cdot 10^3 \cdot 90.53 \cdot 10^{-6}}{2030 \cdot 10^{-8} \cdot 5.2 \cdot 10^{-3}} = 17.15 \cdot 10^6 \text{ Па} = 17.15 \text{ МПа}$$

По полученным значениям строим эпюру касательных напряжений.

**Итог:**

Эквивалентные напряжения в опасных точках сечения рассчитываются по формуле:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_{2,4}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{max}}^2}$$

Подставляя рассчитанные значения:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{(135.07^2) + 4 \cdot (21.6^2)} = 141.81 \text{ МПа}$$

Сравнение с допускаемым напряжением:

$$\sigma_{\text{экв}} = 141.81 \text{ МПа} < [\sigma] = 160$$

Вывод: Двутавр соответствует условиям эксплуатации.

