

Результаты расчета

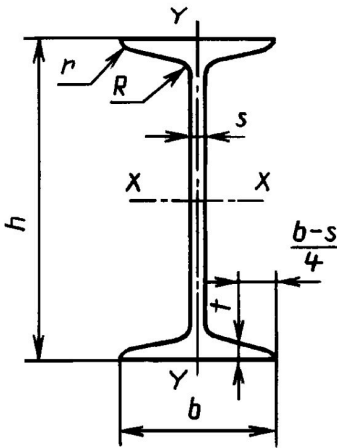
Шаг 1: Расчёт требуемого момента сопротивления:

W\_min = |M\_max| / [σ]

W\_min = (30 × 10^3) / (160 × 10^6) = 0.18750 × 10^-3 м^3 = 187.5 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						
	h	b	s	t	не более				X — X				Y — Y		
					R	r			I <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см	S <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> , 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:

σ\_max = M\_max / W\_x = (30 × 10^3) / (203 × 10^-6) = 147.78 × 10^6 Па = 147.78 МПа < [σ] = 160

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

Расчёт нормальных напряжений:

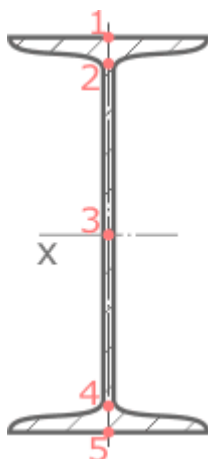
Нормальные напряжения σ в произвольной точке поперечного сечения балки рассчитываются по формуле:

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

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,  $y = -(\frac{h}{2} - t) = -91.4 \text{ мм}$ ):

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

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:

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

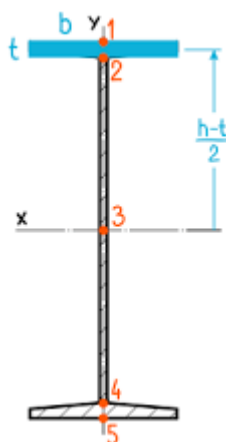
### 1. Максимальные напряжения в точке 3:

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.

