

Расчет внецентренно-сжатого элемента.

Расчетные комбинации усилий (в верхнем сечении колонны при сочетании усилий Постоянная+снег+ветер справа):

$$M = 1014,4 \text{ кНм};$$

$$N = 411 \text{ кН};$$

Максимальный момент в пределах средней трети колонны при этом сочетании:

$$M_x^{1/3} = 676,2 \text{ кНм}$$

Для колонны принимаем сталь С245. Согласно СНиП II-23-81* $R_y = 240$ МПа.

Эксцентриситет приложения силы:

$$e = \frac{M}{N} = \frac{1014,4}{411} = 2,46 \text{ м}$$

Компоуем сечение колонны в виде сварного симметричного двутавра высотой $h = 897$ мм, на отметке 4,500

$$b_f \geq \left(\frac{1}{20} \cdots \frac{1}{30} \right) \cdot l_{efy} = \left(\frac{1}{20} \cdots \frac{1}{30} \right) \cdot 5,9 = 0,295 \dots 0,196 \text{ м}$$

Принимаем $b_f = 245$ мм

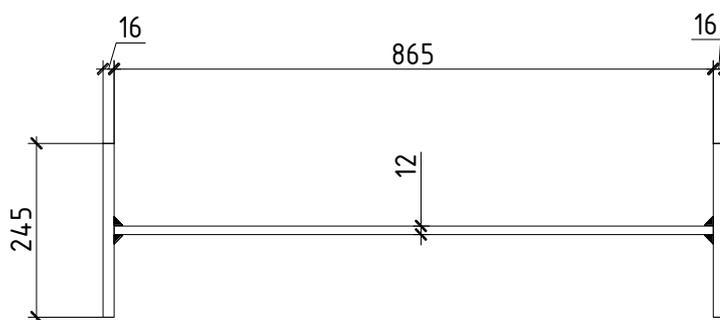


Рисунок 4. Геометрические характеристики сечения стойки на отметке 5,900

$$t_f \geq \frac{b_f}{\sqrt{\frac{E}{R_y}}} = \frac{24,5}{\sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^4}{24}}} = 0,83 \text{ см}$$

Принимаем $t_f = 16$ мм

$$t_w = \frac{h_w}{(60 \dots 120)} = \frac{(89,7 - 2 \cdot 1,6)}{(60 \dots 120)} = 1,44 \dots 0,72 \text{ см}$$

$$\left. \begin{array}{l} t_w^{\min} = 12 \text{ мм} \\ \frac{t_f}{t_w} = \frac{16}{12} = 1,33 < 3 \end{array} \right\} \text{Принимаем } t_w = 12 \text{ мм}$$

Требуемую площадь сечения определим по формуле:

$$A_{mp} = \frac{N}{R_y \cdot \gamma_c} \cdot (1,25 + 2,2 \frac{e}{h}) = \frac{411 \cdot 10^3}{240 \cdot 10^6 \cdot 1} \cdot (1,25 + 2,2 \frac{2,46}{0,897}) = 124,72 \text{ см}^2$$

Определим геометрические характеристики принятого сечения:

$$A = 24,5 \cdot 1,6 \cdot 2 + 86,5 \cdot 1,2 = 182,2 \text{ см}^2 > A_{mp} = 122,4 \text{ см}^2;$$

$$I_x = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} + 2 \cdot \left(\frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + b_f \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_w + t_f}{2} \right)^2 \right) = \frac{1,2 \cdot 86,5^3}{12} + 2 \cdot \left(\frac{24,5 \cdot 1,6^3}{12} + 24,5 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{86,5 + 1,6}{2} \right)^2 \right) = 216865,7 \text{ см}^4$$

$$I_y = \frac{t_w^3 \cdot h_w}{12} + 2 \cdot \frac{b_f^3 \cdot t_f}{12} = \frac{1,2^3 \cdot 86,5}{12} + 2 \cdot \frac{24,5^3 \cdot 1,6}{12} = 3934 \text{ см}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{216865,7}{182,2}} = 34,5 \text{ см} \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3934}{182,2}} = 4,64 \text{ см}$$

$$W_x = \frac{2 \cdot I_x}{h} = \frac{2 \cdot 216865,7}{89,7} = 4835 \text{ см}^3$$

Гибкости стержня колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{efx}}{i_x} = \frac{1534}{34,5} = 44,4; \quad \lambda_y = \frac{l_{efy}}{i_y} = \frac{295}{4,64} = 63,57$$

Проверяем устойчивость стержня колонны в плоскости действия момента, для чего предварительно вычисляем параметры:

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 44,4 \sqrt{\frac{24}{2,06 \cdot 10^4}} = 1,51$$

$$m_x = \frac{e \cdot A}{W_x} = \frac{246 \cdot 182,2}{4825} = 9,28$$

$$\frac{A_f}{A_w} = \frac{24,5 \cdot 1,6}{1,2 \cdot 86,5} = 0,37$$

Определим коэффициент влияния формы сечения η по табл. 73 СНиП II-23-81*

$$0,1 < \bar{\lambda}_x = 1,51 < 5; \quad 5 < m_x = 9,28 < 20$$

$$\text{для } \frac{A_f}{A_w} = 0,25 \quad \eta = 1,2; \quad \frac{A_f}{A_w} = 0,5 \quad \eta = 1,25$$

$$\text{По интерполяции для } \frac{A_f}{A_w} = 0,37 \quad \eta = 1,23$$

$$m_{ef} = 1,23 \cdot 9,28 = 11,41$$

По табл. 74 СНиП II-23-81* определяем коэффициент $\varphi_e = 0,120$.

$$\sigma_x = \frac{N}{\varphi_e \cdot A_{red}} = \frac{411}{0,120 \cdot 182,2} = 187,9 \text{ МПа} < R_y \frac{\gamma_c}{\gamma_n} = 240 \frac{1}{1} = 240 \text{ МПа}$$

Расчет на устойчивость внецентренно-сжатых элементов из плоскости действия момента следует выполнять по формуле:

$$\sigma_y = \frac{N}{c \cdot \varphi_y \cdot A} \leq R_y \frac{\gamma_c}{\gamma_n}$$

$$\varphi_y = 0,790 \text{ по табл. 72 СНиП II-23-81* в зависимости от } \lambda_y$$

За расчетный момент принимаем максимальный момент в пределах средней трети расчетной длины колонны но не менее половина от M_{max}

$$M_x^{1/3} = 676,2 \text{ кНм}$$

Находим относительный эксцентриситет:

$$m_x = \frac{M_x^{1/3}}{N} \cdot \frac{A}{W_x} = \frac{67620}{411} \cdot \frac{182,2}{4825} = 6,21$$

Коэффициент c следует определять при значениях относительного эксцентриситета $5 < m_x = 6,21 < 10$ по формуле $c = c_5(2 - 0,2m_x) + c_{10}(0,2m_x - 1)$

$$\text{Где } c_5 = \frac{\beta}{1 + \alpha m_x}, \text{ где } m_x = 5; \quad c_{10} = \frac{1}{1 + \frac{m_x \cdot \varphi_y}{\varphi_b}}, \text{ где } m_x = 10, \quad \varphi_b = 1$$

α и β - коэффициенты, принимаемые по табл. 10 [1].

$$\alpha = 0,65 + 0,05 \cdot 5 = 0,9;$$

$$\text{при } \lambda_c = 3,14 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 3,14 \cdot \sqrt{\frac{2,06 \cdot 10^{11}}{240 \cdot 10^6}} = 93,97 \geq \lambda_y = 63,57, \text{ значит } \beta = 1$$

$$c = c_5(2 - 0,2m_x) + c_{10}(0,2m_x - 1) = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 5} (2 - 0,2 \cdot 6,21) + \frac{1}{1 + \frac{10 \cdot 0,790}{1}} \cdot (0,2 \cdot 6,21 - 1) = 0,165$$

$$\sigma_y = \frac{N}{c \cdot \varphi_y \cdot A_{red}} = \frac{411}{0.165 \cdot 0.790 \cdot 182,2} = 173,3 \text{ МПа} < 240 \text{ МПа}$$

Устойчивость колонны из плоскости рамы обеспечена.

Устойчивость полки обеспечена, так как

$$\frac{b_{ef}}{t_f} = \frac{0.1165}{0.016} = 7,28 < (0.36 + 0.1\bar{\lambda}) \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}} = (0.36 + 0.1 \cdot 1,51) \cdot \sqrt{\frac{2.06 \cdot 10^{11}}{240 \cdot 10^6}} = 14,97$$

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 44,4 \cdot \sqrt{\frac{240 \cdot 10^6}{2,06 \cdot 10^{11}}} = 1,51$$

$$b_f = \frac{(b_f - t_w)}{2} = \frac{24,5 - 1,2}{2} = 11,65 \text{ - свес полки.}$$

В связи с тем, что $m_{ef} = 11,41 \leq 20$ и отсутствует ослабление сечения верхней части колонны, расчёт на прочность выполнять не требуется.

Учитывая то обстоятельство, что

$$\frac{h_{ef}}{t_w} = \frac{86.5}{1.2} = 72.08 \geq 2.3 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_e}} = 2.3 \cdot \sqrt{\frac{2.06 \cdot 10^4}{24}} = 67,38$$

требуется установка поперечных рёбер жёсткости по длине сечения верхней части колонны. Конструктивно принимаем три пары рёбер жёсткости на расстоянии 500 и 1310 и 3060 мм от верха стойки рамы.

Размеры рёбер жёсткости:

$$\text{Ширина ребра - } b_h \geq \frac{h_{ef}}{30} + 40 \text{ мм} = \frac{865}{30} + 40 = 68,8 \text{ мм} \quad \text{Принимаем } b_h = 70 \text{ мм}$$

Толщина ребра-

$$t_f \geq 2 \cdot b_h \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 2 \cdot 70 \cdot \sqrt{\frac{240 \cdot 10^6}{2.06 \cdot 10^{11}}} = 4,77 \text{ мм}, \quad \text{Принимаем } t_f = 6 \text{ мм.}$$