

Проверка болтов:

$$N_{\text{в.н.}} = \frac{101400}{88} - \frac{411}{2} = 946,7 \text{ кН}$$

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{M}{W} - \frac{N}{A} = \frac{101400}{4835} - \frac{411}{182.2} = 18.71 \text{ кН/см}^2$$

$$\sigma_{\text{min}} = -\frac{M}{W} - \frac{N}{A} = -\frac{101400}{4835} - \frac{411}{182.2} = -23.22 \text{ кН/см}^2$$

Усилие в растянутом поясе:

$$N_{f1} = (A_f + A_{w1}) \cdot \sigma_{\text{max}}$$

$$A_f = 24.5 \cdot 1.6 = 39.2 \text{ см}^2$$

$$A_{w1} = h_{w1} \cdot t_w$$

$$h_{w1} = a_1 + 0.5w - t_{f1} = 6,1 + 0.5 \cdot 7 - 1.6 = 8 \text{ см}$$

$$N_{f1} = (A_f + A_{w1}) \cdot \sigma_{\text{max}} = (39,2 + 8 \cdot 1,2) \cdot 18,71 = 913.04 \text{ кН}$$

Усилие в растянутой части стенки:

$$N_w = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{\text{max}} \cdot \frac{t_w}{h_0} (h_0 - h_{w1})^2$$

$$h_0 = \frac{h}{1-m} = \frac{88.2}{1+1.24} = 39.37$$

$$m = \frac{\sigma_{\text{min}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{-23.22}{18.71} = -1.24$$

$$N_w = \frac{1}{2} \cdot 18.71 \cdot \frac{1.2}{39.37} (39.37 - 8)^2 = 280.6 \text{ кН}$$

Прочность ФС считаем обеспеченной, если при $-\infty < m < 0$ и $\sigma > 0$,

выполняются условия:

$$N_{f1} < N_{fp1}$$

$$N_w < N_{wp}$$

Толщину фланца принимаем 27 мм

$$N_{fp1} = 1.8 \cdot Bp \left(K_1 + \frac{h_2}{h_1} \right) + N_{нф} \cdot n_n \left(1 + \frac{h_2}{h_1} \right)$$

$$h_1 = h_0 + b_1 = 39.55 + 4.5 = 44.05 \text{ см}$$

$$h_2 = h_0 - a_1 = 39.55 - 6.1 = 33.45 \text{ см}$$

$$K_1 = 1$$

Принимаем сталь болтов 40X «селект»; диаметр болтов $d = 24 \text{ мм}$;

$$R_{b_{um}} = 1100 \text{ МПа.}$$

$$Bp = R_{bh} \cdot A_{bn} = 0.7 \cdot 110 \cdot 3.52 = 271.04 \text{ кН}$$

$$N_{ijf} = N_{if} = \min(N_{Bf}, N_{\Phi f})$$

$$N_{Bf} = \lambda_j \cdot Bp = 0.663 \cdot 271.04 = 179.8 \text{ кН}$$

$$\lambda_j = 0.5088 - 0.2356 \cdot \lg \chi = 0.663$$

$$\chi = \frac{d^2}{w \left(t + \frac{d}{2} \right)} \left(\frac{b_f}{t} \right)^3 = \frac{2.4^2}{10 \cdot \left(2.7 + \frac{2.4}{2} \right)} \left(\frac{3.1}{2.7} \right)^3 = 0.22$$

$$N_{\Phi f} = 1.3 \cdot \frac{\alpha + 1}{\mu \cdot \alpha} \cdot Bp = 1.3 \cdot \frac{1.603 + 1}{2.59 \cdot 1.603} \cdot 271.04 = 220.9 \text{ кН}$$

$$\mu = \frac{0.9 \cdot Bp \cdot b_j}{M_j}; M_j = \frac{w \cdot t^2}{6} \cdot R_y = \frac{10 \cdot 2.7^2}{6} \cdot 24 = 291.6 \text{ кНсм}$$

$$\mu = \frac{0.9 \cdot Bp \cdot b_f}{M_j} = \frac{0.9 \cdot 271.04 \cdot 3.1}{291.6} = 2.59$$

$$b_f = 45 - 14 = 31 \text{ мм}$$

$$\alpha = 1.603$$

α - определяется по таблице 4 «Рекомендации по расчету фланцевых соединений»

$$N_{mif} = N_{Bf} = 179.8 \text{ кН}$$

$$N_{fp1} = 1.8 \cdot Bp \left(K_1 + \frac{h_2}{h_1} \right) + N_{mif} \cdot n_n \left(1 + \frac{h_2}{h_1} \right) = 1.8 \cdot 271.04 \cdot \left(1 + \frac{33.45}{44.05} \right) + 179.8 \cdot 2 \cdot \left(1 + \frac{33.45}{44.05} \right) = 1491 \text{ кН} > 913.04 \text{ кН}$$

Определяем расчетное усилие растяжения, воспринимаемое фланцем и болтом, относящимися к растянутой части стенки профиля N_{wp}

$$N_{wp} = 2N_{ijw} \cdot \frac{h}{h_0} \left[h_2 - \frac{1}{2}(n+1)w \right]$$

$$N_{нжв} = N_{нв} = \min(N_{Бв}, N_{Фв})$$

По прочности фланца на изгиб:

$$N_{Фв} = 1.3 \cdot \frac{\alpha + 1}{\mu \cdot \alpha} \cdot Bp$$

$$\mu = \frac{0.9 \cdot Bp \cdot b_j}{M_j}; M_j = \frac{w \cdot t^2}{6} \cdot R_y = \frac{10 \cdot 2.7^2}{6} \cdot 24 = 291.6 \text{ кНсН}$$

$$\mu = \frac{0.9 \cdot Bp \cdot b_j}{M_j} = \frac{0.9 \cdot 271.04 \cdot 3.5}{291.6} = 2.93$$

$$b_j = 51 - 6 - 10 = 35 \text{ мм}$$

α - определяется по таблице 4 «Рекомендации по расчету фланцевых соединений»

$$\chi = \frac{d^2}{w \left(t + \frac{d}{2} \right)} \left(\frac{b_f}{t} \right)^3 = \frac{2.4^2}{10 \cdot \left(2.7 + \frac{2.4}{2} \right)} \left(\frac{3.5}{2.7} \right)^3 = 0.32 \Rightarrow \alpha = 1.485$$

$$N_{Фв} = 1.3 \cdot \frac{\alpha + 1}{\mu \cdot \alpha} \cdot Bp = 1.3 \cdot \frac{1.485 + 1}{2.93 \cdot 1.485} \cdot 271.04 = 201.2 \text{ кН - расчетное усилие на}$$

болт, определяемое из условия прочности фланца на изгиб.

Находим расчетное усилие на болт, определяемое из условия прочности соединения по болтам $N_{Бв}$:

$$N_{Бв} = \lambda_j \cdot Bp$$

$$\lambda_j = 0.5088 - 0.2356 \cdot \lg \chi = 0.625$$

$$N_{Бв} = 0.625 \cdot 271.04 = 169.4 \text{ кН}$$

Следовательно

$$N_{нжв} = N_{нв} = \min(N_{Бв}, N_{Фв}) = 169.4 \text{ кН}$$

$$N_{wp} = 2N_{нжв} \cdot \frac{n}{h_0} \left[h_2 - \frac{1}{2}(n+1)w \right] = 2 \cdot 169.4 \cdot \frac{3}{39.37} \left[33.45 - \frac{1}{2}(3+1) \cdot 10 \right] = 345.65 \text{ кН}$$

Проверяем условия:

$$N_{f1} = 913,04 \text{кН} < N_{fp1} = 1491 \text{кН}$$

$$N_w = 280,6 \text{кН} < N_{wp} = 345,65 \text{кН}$$

Условия выполнены.

Проверка соединения на сдвиг:

$$Q = \frac{R_{bh} \gamma_b A_{bn} \mu}{\gamma_h} = \frac{110 * 0,8 * 3,52 * 0,25}{1,3} * 4 = 238,3 \text{кН} > 179,2 \text{кН}$$

Проверка несущей способности сварных швов:

Крепление пояса.

По металлу шва:

$$\frac{N_f}{\beta_f \cdot (k_f + 2 \text{мм}) l_w} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c$$

$$N_f = 913,04 \text{кН}; k_f = 1,4 \text{см}$$

$$l_w = (24,5 - 2) * 2 = 44 \text{см}$$

$$R_{wf} = 21,5 \text{кН} / \text{см}^2 \text{ (Св08Г2С)}$$

$$\beta_f = 0,7$$

$$\gamma_c = 0,95$$

$$\frac{913,04}{0,7 \cdot (1,4 + 0,2) 44} = 17,08 \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c = 21,5 * 1 * 0,95 = 20,43 \text{кН} / \text{см}^2$$

По границе сплавления:

$$\frac{N_f}{\beta_z \cdot k_f l_w} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c$$

$$R_{wz} = 0,45 * 37 = 16,65 \text{кН} / \text{см}^2$$

$$\beta_z = 1; \gamma_{wz} = 1$$

прочность обеспечена.

$$\frac{913,04}{1 * 1,4 * 44} = 14,82 \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c = 16,65 * 0,95 = 15,82 \text{кН} / \text{см}^2$$