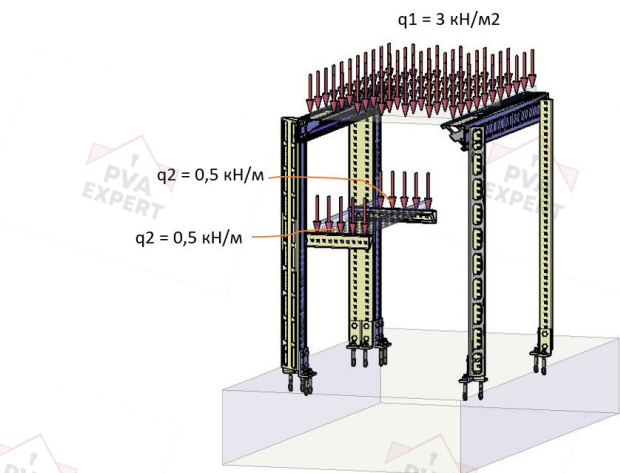
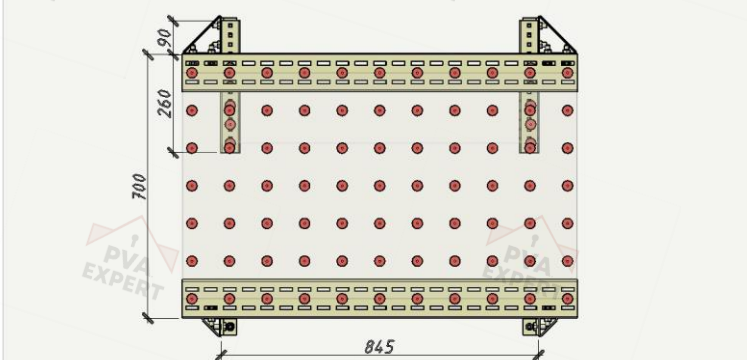
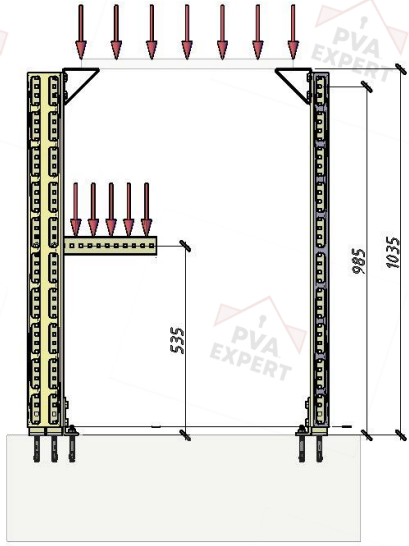
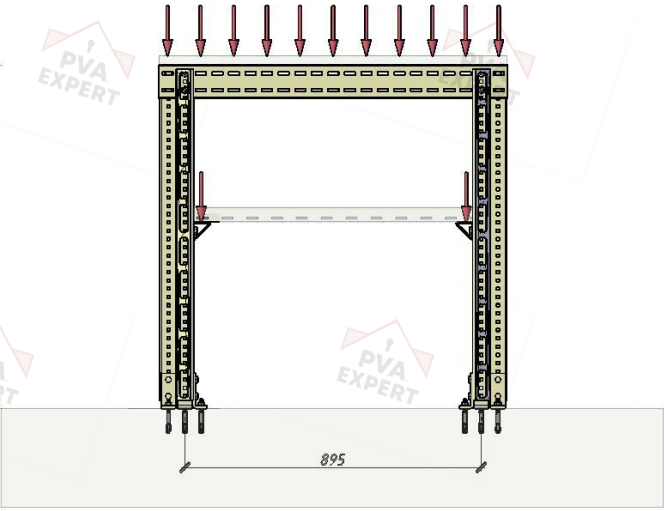
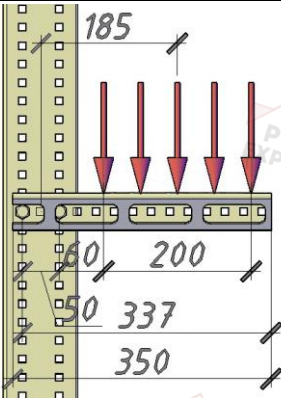


Пример расчета конструкции по СТО «СИСТЕМЫ МОДУЛЬНЫЕ СТАЛЬНЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОНТАЖНЫХ ПРОФИЛЕЙ «УТЕСН» ТРЕУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ Правила проектирования»

В качестве примера рассмотрим расчет конструкции фрагмента фальшпола с распределенной нагрузкой 300 кг/м^2 и распределенной нагрузкой 50 кг/м на консоли от кабельного лотка (сосредоточенная нагрузка 10 кг на каждую консоль). Собственный вес конструкции в данном примере не учитывается. Узлы крепления к основанию приняты жесткими, узлы соединения профилей приняты шарнирными. Узлы крепления консолей приняты жесткими. Раскрепление в стены отсутствует.

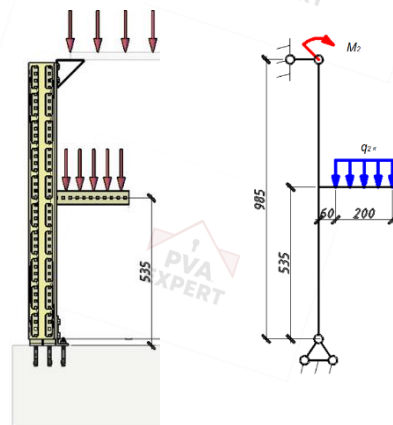
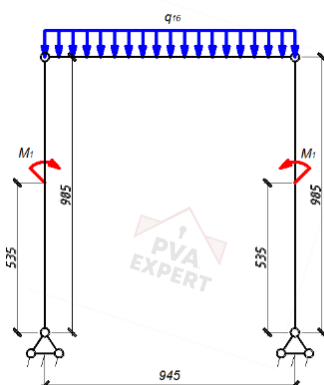
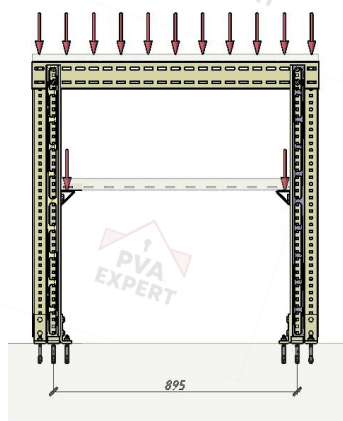
1. Исходные данные:

№ п/п	Изображение	Комментарий
1		<p>Фрагмент фальшпола. $q_1 = 3 \text{ кН/м}^2$ $q_2 = 0,5 \text{ кН/м}$</p>
2		<p>Вид сверху</p>

3		Вид сбоку
4		Вид спереди
5		Крепление консоли к стойке

2. Выбор расчетной схемы и сбор нагрузок:

Рассмотрим расчет рамы со стойками из профиля СН-Т-100-2-SQ, прикрепленными к ним консолями из профиля СН-Т-50-2-SQ и балкой из профиля



СН-Т-100-2-REC.

Фрагмент рамы
ФП

Расчетная схема
рамы ФП

Вид сбоку

Расчетная схема
(вид сбоку)

$$q_1 = 3 \text{ кН/м}^2;$$

$$q_2 = 0,5 \text{ кН/м}^2;$$

Распределенная нагрузка на балку:

$$q_{16} = 3 * 0,3 = 0,9 \text{ кН/м};$$

Пролет балки между точками крепления:

$$l_6 = 845 + 50 + 50 = 945 \text{ мм};$$

Определим расчетную длину балки:

$$l_{06} = \mu l_6;$$

$$\mu = 1 \text{ по таблице 30 СП 16.13330.2017};$$

$$l_{06} = 1 * 0,945 = 0,945 \text{ м};$$

Длина стойки между точками крепления:

$$l_c = 985 \text{ мм};$$

Определим расчетную длину стойки:

$$l_{0c} = \mu l_c;$$

$$\mu = 2 \text{ по таблице 30 СП 16.13330.2017};$$

$$l_{0c} = 2 * 0,985 = 1,97 \text{ м};$$

Длина консоли:

$$l_k = 285 \text{ мм};$$

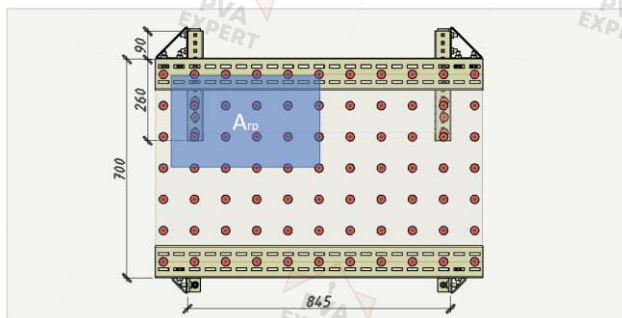
Определим расчетную длину консоли:

$$l_{0c} = \mu l_c;$$

$\mu = 2$ по таблице 30 СП 16.13330.2017;

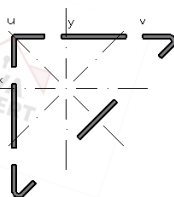
$$l_{0c} = 2 * 0,285 = 0,57 \text{ м};$$

Определим грузовую площадь, с которой приходит нагрузка на стойку:

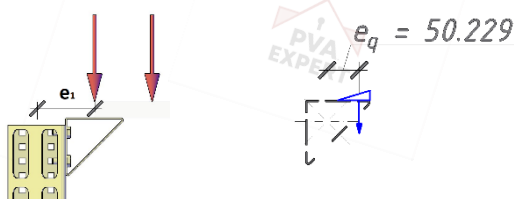


$$A_{гр} = 0,3 * 0,4725 = 0,14175 \text{ м}^2;$$

Примем оси сечения для профиля:



Определим эксцентриситеты нагрузки от плит фальшпола:



Эксцентриситет приложения нагрузки, относительно ц.т. сечения балки:
 $e_q = 50,229 \text{ мм};$

Эксцентриситет приложения нагрузки, относительно ц.т. сечения стойки:

$$e_1 = e_q + 2 * y_{ц.т.} = 50,229 + 2 * 33,1039 = 116,437 \text{ мм};$$

Приведем нагрузку на стойку к силе, приложенной к ц.т. сечения и моменту:

$$N_{ст} = q_1 * A_{гр} = 3 * 0,14175 = 0,425 \text{ кН};$$

$$M_{ст} = M_2 = N_{ст} * e_1 = 0,425 * 0,116437 = 0,0495 \text{ кН*м}$$

Распределенный крутящий момент, действующий на балку:

$$m = q_{16} \cdot e_q = 0,9 \cdot 0,050229 = 0,0452 \text{ кН*м/м}$$

Момент от эксцентриситета приложения нагрузки с консоли:

$$M_1 = q_2 \cdot 0,2 \cdot (y_{ц.т.50} + y_{ц.т.100}) = 0,5 \cdot 0,2 (0,01701 + 0,0331039) = 0,005 \text{ кН*м}$$

3. Определение внутренних усилий:

Определим изгибно-крутящий бимомент В, изгибно-крутящий момент M_ω , крутящий момент $M_{кр}$, действующие в сечениях профиля по разделу 6.4. СТО 36554501-___-2025. Для равномерно распределенного момента силовые факторы В, M_ω , $M_{кр}$ определяются по формулам (38,39,40):

$$M_{кр} = m \cdot \left(\frac{l}{2} - z + \frac{\text{shk}(\frac{l}{2} - z)}{k \cdot \text{ch}\frac{kl}{2}} \right),$$

$$M_\omega = -\frac{m}{k} \cdot \frac{\text{shk}(\frac{l}{2} - z)}{\text{ch}\frac{kl}{2}},$$

$$B = \frac{m}{k^2} \cdot \left[1 - \frac{\text{chk}(\frac{l}{2} - z)}{\text{ch}\frac{kl}{2}} \right],$$

где $\text{chk}(\frac{l}{2} - z)$ и $\text{ch}\frac{kl}{2}$ – гиперболические косинусы от $k(\frac{l}{2} - z)$ и $\frac{kl}{2}$,

$\text{shk}(\frac{l}{2} - z)$ – гиперболический синус от $k(\frac{l}{2} - z)$.

l – длина стержня между точками закрепления,

z – горизонтальная ось с началом координат на левой опоре,

$$k = \sqrt{\frac{G I_t}{E I_\omega}},$$

$G = 79\,000$ МПа – модуль сдвига,

I_ω – секториальный момент инерции сечения, принимаемый по таблице 1 СТО 36554501-___-2025;

Определим коэффициент k для профиля СН-Т-100-2-REC:

$$k = \sqrt{\frac{G I_t}{E I_\omega}} = \sqrt{\frac{79000 \cdot 14346,3 \cdot 10^{-12}}{206000 \cdot 55325220,3 \cdot 10^{-18}}} = 9,972$$

Определим крутящий момент $M_k(z)$ при $z=0$, $z=l/2$ и $z=l$:

$$M_{кр}(0) = m \cdot \left(\frac{l}{2} - z + \frac{\text{shk}(\frac{l}{2} - z)}{k \cdot \text{ch}\frac{kl}{2}} \right) = 0,0452 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,945}{2} - z + \frac{\text{sh } 9,972 \cdot (\frac{0,945}{2} - 0)}{9,972 \cdot \text{ch}\frac{9,972 \cdot 0,945}{2}} \right) = 0,002549 \text{ кНм};$$

$$M_{кр}(l/2) = m \cdot \left(\frac{l}{2} - z + \frac{\text{shk}(\frac{l}{2} - z)}{k \cdot \text{ch}\frac{kl}{2}} \right) = 0,0452 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,945}{2} - z + \frac{\text{sh } 9,972 \cdot (\frac{0,945}{2} - 0,4725)}{9,972 \cdot \text{ch}\frac{9,972 \cdot 0,945}{2}} \right) = 0 \text{ кНм};$$

$$M_{\text{кр}}(l) = m \cdot \left(\frac{l}{2} - z + \frac{\text{shk}(\frac{l}{2} - z)}{k \cdot \text{ch} \frac{kl}{2}} \right) = 0,0452 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,945}{2} - z + \frac{\text{sh } 9,972(\frac{0,945}{2} - 0,945)}{9,972 \cdot \text{ch} \frac{9,972 \cdot 0,945}{2}} \right) = -0,002549 \text{ кНм};$$

Определим крутящий изгибно-крутящий момент $M_{\omega}(z)$ при $z=0$, $z=l/2$ и $z=l$:

$$M_{\omega}(0) = -\frac{m}{k} \cdot \frac{\text{shk}(\frac{l}{2} - z)}{\text{ch} \frac{kl}{2}} = -\frac{0,0452 \cdot 10^3}{9,972} \cdot \frac{\text{sh } 9,972(\frac{0,945}{2} - 0)}{\text{ch} \frac{9,972 \cdot 0,945}{2}} = -0,00413 \text{ кНм};$$

$$M_{\omega}(l/2) = -\frac{m}{k} \cdot \frac{\text{shk}(\frac{l}{2} - z)}{\text{ch} \frac{kl}{2}} = -\frac{0,0452 \cdot 10^3}{9,972} \cdot \frac{\text{sh } 9,972(\frac{0,945}{2} - 0,4725)}{\text{ch} \frac{9,972 \cdot 0,945}{2}} = 0 \text{ кНм};$$

$$M_{\omega}(l) = -\frac{m}{k} \cdot \frac{\text{shk}(\frac{l}{2} - z)}{\text{ch} \frac{kl}{2}} = -\frac{0,0452 \cdot 10^3}{9,972} \cdot \frac{\text{sh } 9,972(\frac{0,945}{2} - 0,945)}{\text{ch} \frac{9,972 \cdot 0,945}{2}} = 0,00413 \text{ кНм};$$

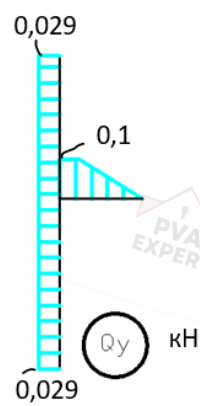
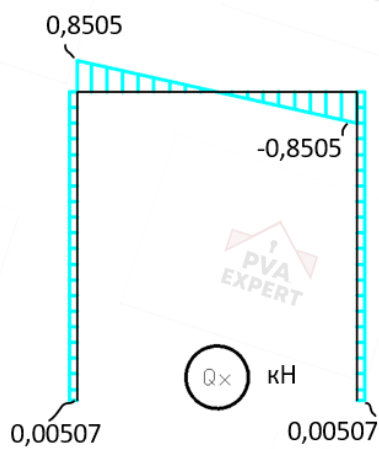
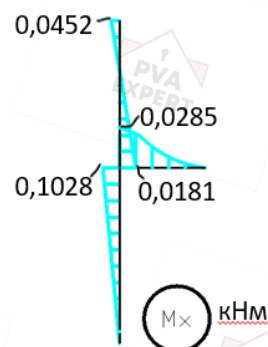
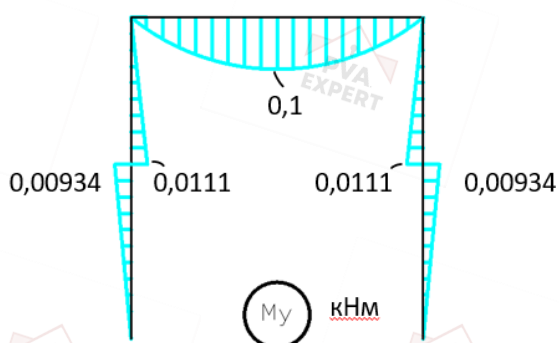
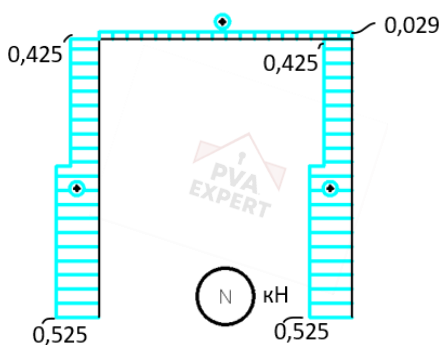
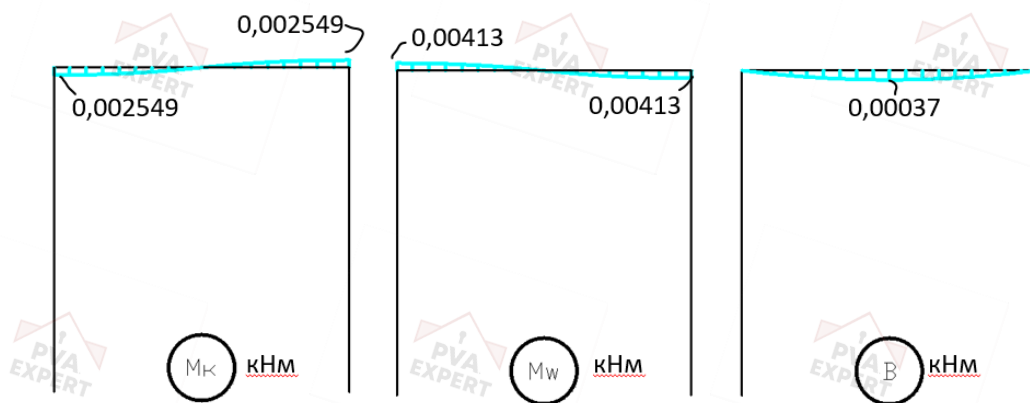
Определим крутящий бимомент $B(z)$ при $z=0$, $z=l/2$ и $z=l$:

$$B(0) = \frac{m}{k^2} \cdot \left[1 - \frac{\text{chk}(\frac{l}{2} - z)}{\text{ch} \frac{kl}{2}} \right] = \frac{0,0452 \cdot 10^3}{9,972^2} \cdot \left[1 - \frac{\text{ch } 9,972(\frac{0,945}{2} - 0)}{\text{ch} \frac{9,972 \cdot 0,945}{2}} \right] = 0;$$

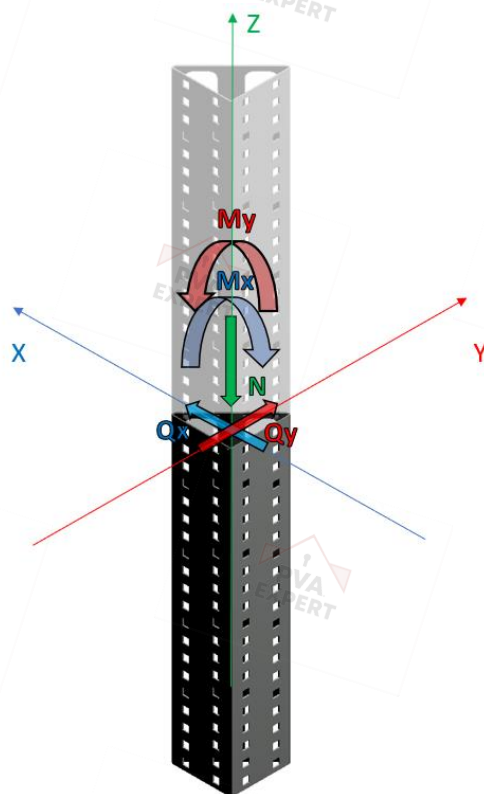
$$B(l/2) = \frac{m}{k^2} \cdot \left[1 - \frac{\text{chk}(\frac{l}{2} - z)}{\text{ch} \frac{kl}{2}} \right] = \frac{0,0452 \cdot 10^3}{9,972^2} \cdot \left[1 - \frac{\text{ch } 9,972(\frac{0,945}{2} - 0,4725)}{\text{ch} \frac{9,972 \cdot 0,945}{2}} \right] = 0,00037;$$

$$B(l) = \frac{m}{k^2} \cdot \left[1 - \frac{\text{chk}(\frac{l}{2} - z)}{\text{ch} \frac{kl}{2}} \right] = \frac{0,0452 \cdot 10^3}{9,972^2} \cdot \left[1 - \frac{\text{ch } 9,972(\frac{0,945}{2} - 0,945)}{\text{ch} \frac{9,972 \cdot 0,945}{2}} \right] = 0;$$

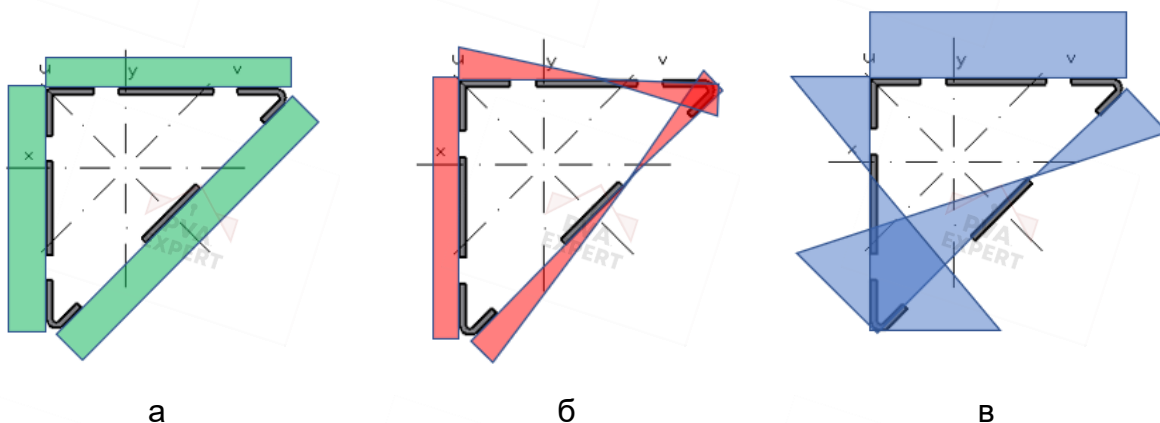
Построим эпюры крутящего, изгибно-крутящего моментов, бимомента и других силовых факторов:



Выполним расчет стойки в наиболее опасном сечении:



Внутренние силовые факторы в расчетном сечении стойки (на уровне ~530 мм от опорной точки)



Нормальные напряжения (а – от продольной силы N, б – от момента My, в – от момента Mx)

Определим значения внутренних силовых факторов в расчетном сечении:

Нормальные напряжения от продольной силы N:

$$\sigma_N = \frac{N}{A_{nn}} = \frac{0,525 \cdot 10^3}{423,5 \cdot 10^{-6}} = 1,24 \text{ МПа}$$

Нормальные напряжения от момента My (сжатая зона):

$$\sigma_y = M_y \frac{x}{I_{y_{nn}}} = 0,00943 * 10^3 * \frac{33,1039 * 10^{-3}}{483625,5 * 10^{-12}} = 0,645 \text{ МПа}$$

Нормальные напряжения от момента M_y (растянутая зона):

$$\sigma_y = M_y \frac{x}{I_{y_{nn}}} = 0,00943 * 10^3 * \frac{66,896 * 10^{-3}}{483625,5 * 10^{-12}} = 1,304 \text{ МПа}$$

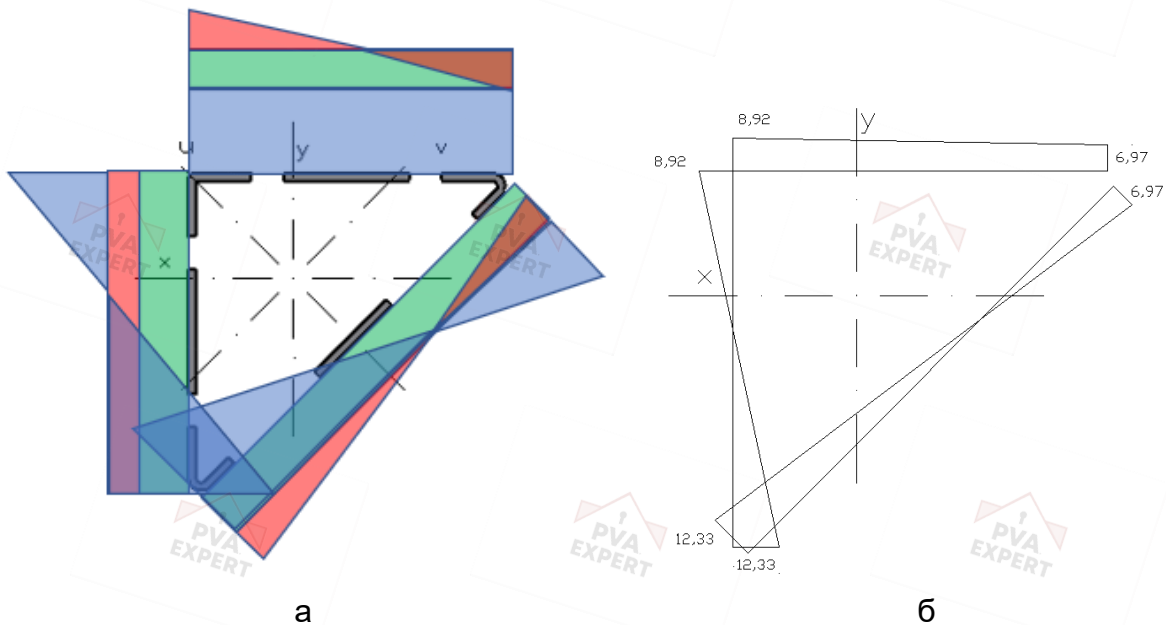
Нормальные напряжения от момента M_x (сжатая зона):

$$\sigma_x = M_x \frac{y}{I_{x_{nn}}} = 0,1028 * 10^3 * \frac{33,1039 * 10^{-3}}{483625,5 * 10^{-12}} = 7,036 \text{ МПа}$$

Нормальные напряжения от момента M_x (растянутая зона):

$$\sigma_x = M_x \frac{y}{I_{x_{nn}}} = 0,1028 * 10^3 * \frac{66,896 * 10^{-3}}{483625,5 * 10^{-12}} = 14,219 \text{ МПа}$$

Найдем результирующие нормальные напряжения:



Нормальные напряжения (а – наложение эпюр от продольной силы N , момента M_y , момента M_x ; б – результирующая эпюра нормальных напряжений)

Определим коэффициент $\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$, равный отношению меньшего напряжения к большему согласно эпюрам напряжений.

Для стенки профиля, параллельной оси X :

$$\psi_x = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{6,97}{8,92} = 0,781$$

Для стенки профиля, параллельной оси Y проверка не требуется, т.к. стенка работает на изгиб и потери местной устойчивости при таком НДС в сечениях треугольных профилей СН-Т-100-2-REC, СН-Т-100-2-SQ, СН-Т-100-3-SQ не происходит.

Для стенки профиля, параллельной оси V проверка не требуется, т.к. стенка работает на изгиб и потери местной устойчивости при таком НДС в сечениях треугольных профилей СН-Т-100-2-REC, СН-Т-100-2-SQ, СН-Т-100-3-SQ не происходит.

Определим коэффициент k_{σ} по таблице 2 СТО 36554501-____-2025.

Для стенки профиля, параллельной оси X:

$$K_{\sigma,x} = \frac{8,2}{(1,05 + \psi_x)} = \frac{8,2}{(1,05 + 0,781)} = 4,478$$

Определим критическое напряжение потери устойчивости профиля по формуле 49 СТО 36554501-____-2025.

Для стенки профиля, параллельной оси X:

$$\sigma_{cr,x} = k_{\sigma,x} \frac{\pi^2 E t^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot c^2} = 4,478 * \frac{3,14^2 * 200000 * 10^6 * 0,002^2}{12 * (1 - 0,3^2) * 0,1^2} = 323,78 \text{ МПа}$$

Определим условную гибкость стенок профиля.

Для стенки профиля, параллельной оси X:

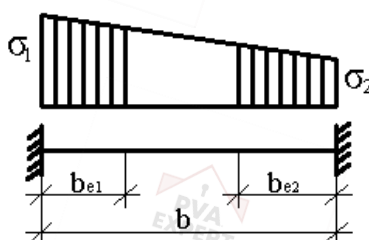
$$\bar{\lambda}_{p,x} = \sqrt{\frac{R_{yn}}{\sigma_{cr,x}}} = \sqrt{\frac{345}{323,78}} = 1,032$$

Определим коэффициент редуции:

Для стенки профиля, параллельной оси X:

$$\rho_x = \frac{\bar{\lambda}_{p,x} - 0,055 \cdot (3 + \psi_x)}{\bar{\lambda}_{p,x}^2} = \frac{1,032 - 0,055 * (3 + 0,781)}{1,032^2} = 0,773$$

Определим эффективную ширину b_{ef} для стенки профиля, параллельной оси X:

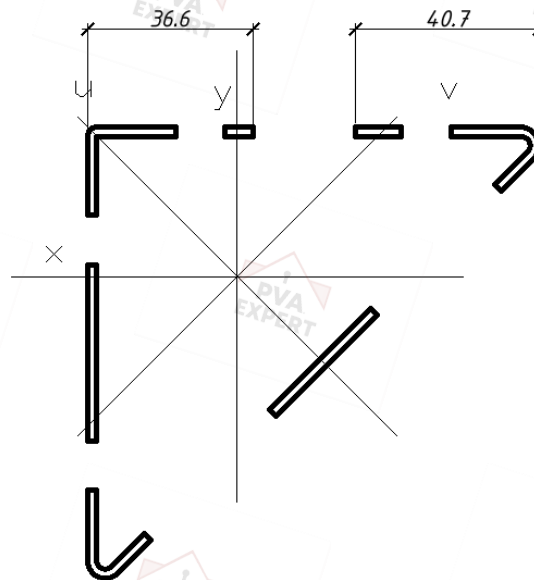


$$b_{ef} = \rho_x \cdot b = 0,773 \cdot 100 = 77,3 \text{ мм}$$

$$b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi_x} b_{ef} = \frac{2}{5 - 0,781} \cdot 77,3 = 36,643 \text{ мм}$$

$$b_{e2} = b_{ef} - b_{e1} = 77,3 - 36,643 = 40,657 \text{ мм}$$

Редуцированное сечение:



Необходимо провести минимум две итерации до тех пор, пока геометрические характеристики между итерациями будут отличаться не более чем на 1-2%

Геометрические характеристики редуцированного сечения (итерация 1):

$$A_{nn} = 378,23 \text{ мм}^2;$$

$$I_{xnn} = 431404,1 \text{ мм}^4;$$

$$I_{ynn} = 470588,3 \text{ мм}^4;$$

$$i_{xnn} = 33,77 \text{ мм};$$

$$i_{ynn} = 35,27 \text{ мм};$$

$$\min W_{xnn} = 6843,16 \text{ мм}^3;$$

$$\min W_{ynn} = 6851,56 \text{ мм}^3;$$

$$I_{vnn} = 240569,6 \text{ мм}^4;$$

$$I_{unn} = 661422,7 \text{ мм}^4;$$

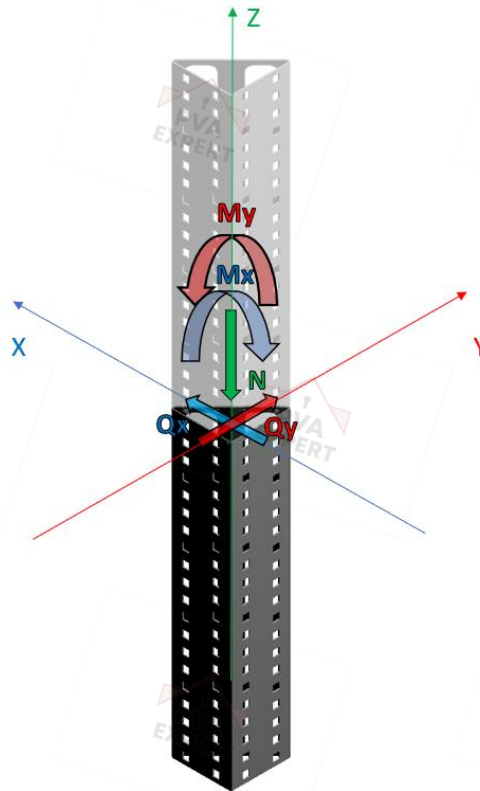
$$i_{vnn} = 25,22 \text{ мм};$$

$$i_{unn} = 41,81 \text{ мм};$$

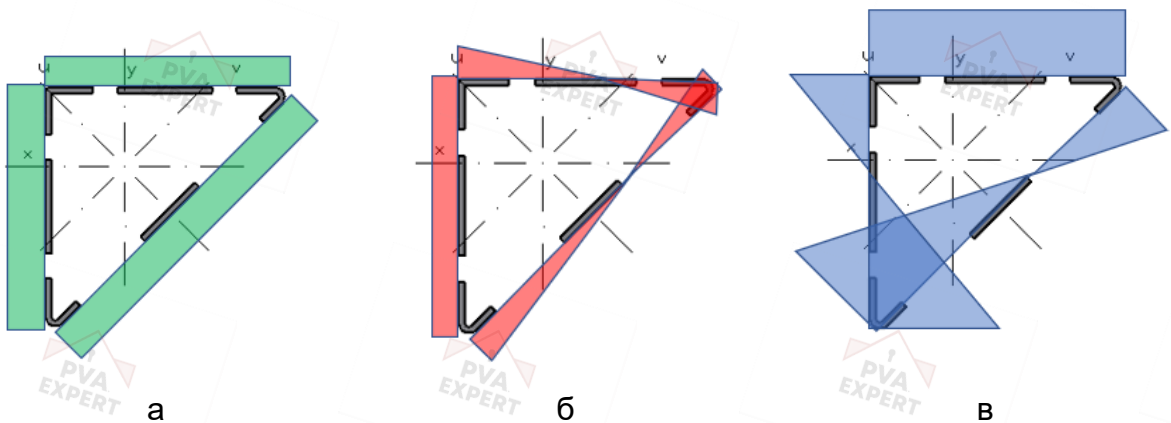
$$W_{vnn} = 5070,02 \text{ мм}^3;$$

$$W_{\text{unn}} = 9055,24 \text{ мм}^3;$$

Пересчитаем распределение напряжений в редуцированном сечении:



Внутренние силовые факторы в расчетном сечении стойки (на уровне ~530 мм от опорной точки)



Нормальные напряжения (а – от продольной силы N, б – от момента My, в – от момента Mx)

Определим значения внутренних силовых факторов в расчетном сечении:

Нормальные напряжения от продольной силы N:

$$\sigma_N = \frac{N}{A_{nn}} = \frac{0,525 * 10^3}{378,2 * 10^{-6}} = 1,39 \text{ МПа}$$

Нормальные напряжения от момента M_y (сжатая зона):

$$\sigma_y = M_y \frac{x}{I_{y_{nn}}} = 0,00943 * 10^3 * \frac{31,31 * 10^{-3}}{470588,3 * 10^{-12}} = 0,627 \text{ МПа}$$

Нормальные напряжения от момента M_y (растянутая зона):

$$\sigma_y = M_y \frac{x}{I_{y_{nn}}} = 0,00943 * 10^3 * \frac{68,68 * 10^{-3}}{470588,3 * 10^{-12}} = 1,376 \text{ МПа}$$

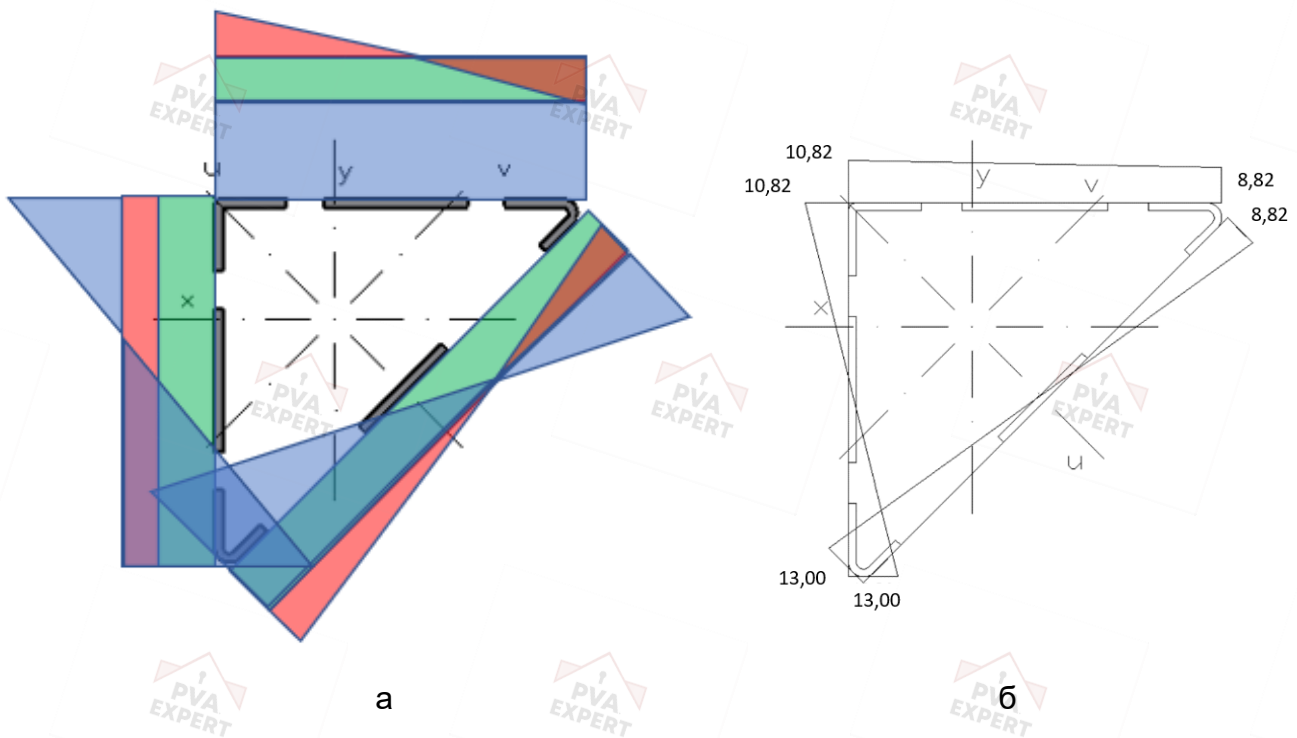
Нормальные напряжения от момента M_x (сжатая зона):

$$\sigma_x = M_x \frac{y}{I_{x_{nn}}} = 0,1028 * 10^3 * \frac{36,95 * 10^{-3}}{431404,1 * 10^{-12}} = 8,806 \text{ МПа}$$

Нормальные напряжения от момента M_x (растянутая зона):

$$\sigma_x = M_x \frac{y}{I_{x_{nn}}} = 0,1028 * 10^3 * \frac{63,04 * 10^{-3}}{431404,1 * 10^{-12}} = 15,05 \text{ МПа}$$

Найдем результирующие нормальные напряжения:



Нормальные напряжения (а – наложение эпюр от продольной силы N , момента M_y , момента M_x ; б – результирующая эпюра нормальных напряжений)

Определим коэффициент $\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$, равный отношению меньшего напряжения к большему согласно эпюрам напряжений.

Для стенки профиля, параллельной оси X:

$$\psi_x = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{8,82}{10,82} = 0,815$$

Для стенки профиля, параллельной оси Y проверка не требуется, т.к. стенка работает на изгиб и потери местной устойчивости при таком НДС в сечениях треугольных профилей СН-Т-100-2-REC, СН-Т-100-2-SQ, СН-Т-100-3-SQ не происходит.

Для стенки профиля, параллельной оси V проверка не требуется, т.к. стенка работает на изгиб и потери местной устойчивости при таком НДС в сечениях треугольных профилей СН-Т-100-2-REC, СН-Т-100-2-SQ, СН-Т-100-3-SQ не происходит. Определим коэффициент k_σ по таблице 2 СТО 36554501-___-2025.

Для стенки профиля, параллельной оси X:

$$K_{\sigma,x} = \frac{8,2}{(1,05 + \psi_x)} = \frac{8,2}{(1,05 + 0,825)} = 4,397$$

Определим критическое напряжение потери устойчивости профиля по формуле 49 СТО 36554501-___-2025.

Для стенки профиля, параллельной оси X:

$$\sigma_{cr,x} = K_{\sigma,x} \frac{\pi^2 E t^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot c^2} = 4,397 * \frac{3,14^2 * 200000 * 10^6 * 0,002^2}{12 * (1 - 0,3^2) * 0,1^2} = 317,93 \text{ МПа}$$

Определим условную гибкость стенок профиля.

Для стенки профиля, параллельной оси X:

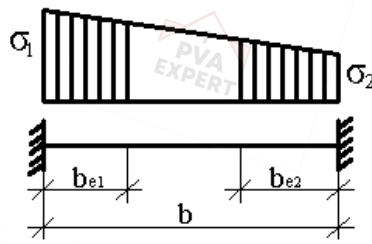
$$\bar{\lambda}_{p,x} = \sqrt{\frac{R_{yn}}{\sigma_{cr,x}}} = \sqrt{\frac{345}{317,93}} = 1,042$$

Определим коэффициент редукиции:

Для стенки профиля, параллельной оси X:

$$\rho_x = \frac{\bar{\lambda}_{p,x} - 0,055 \cdot (3 + \psi_x)}{\bar{\lambda}_{p,x}^2} = \frac{1,042 - 0,055 \cdot (3 + 0,815)}{1,042^2} = 0,766$$

Определим эффективную ширину b_{ef} для стенки профиля, параллельной оси X:

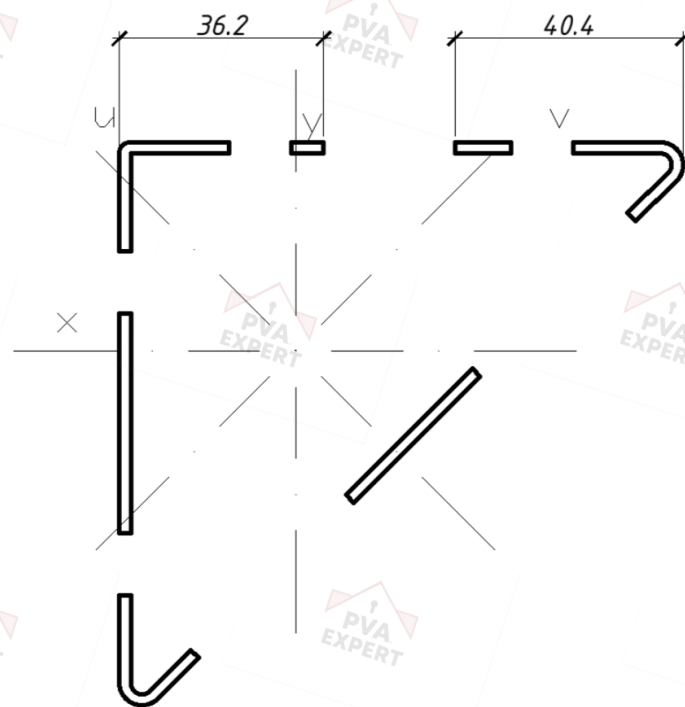


$$b_{ef} = \rho_x \cdot b = 0,766 \cdot 100 = 76,6 \text{ мм}$$

$$b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi_x} b_{ef} = \frac{2}{5 - 0,766} \cdot 76,6 = 36,21 \text{ мм}$$

$$b_{e2} = b_{ef} - b_{e1} = 77,3 - 36,643 = 40,44 \text{ мм}$$

Редуцированное сечение:



Геометрические характеристики редуцированного сечения (итерация 2):

$$A_{nn} = 376,93 \text{ мм}^2;$$

$$I_{xnn} = 429717,63 \text{ мм}^4;$$

$$I_{ynn} = 470221,35 \text{ мм}^4;$$

$$i_{xnn} = 33,76 \text{ мм};$$

$$i_{ynn} = 35,32 \text{ мм};$$

$$\min W_{xnn} = 6829,83 \text{ мм}^3;$$

$$\min W_{ynn} = 6841,83 \text{ мм}^3;$$

$$I_{vnn} = 240142,76 \text{ мм}^4;$$

$$I_{unn} = 659795,216 \text{ мм}^4;$$

$$i_{vnn} = 25,24 \text{ мм};$$

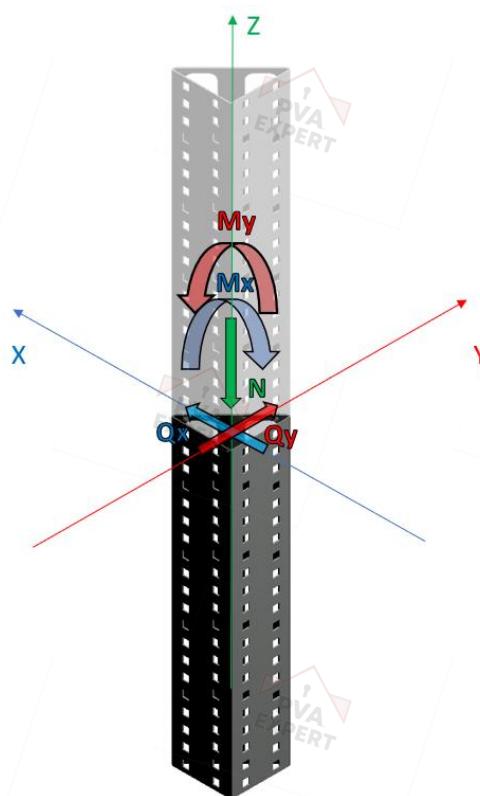
$$i_{unn} = 41,83 \text{ мм};$$

$$W_{vnn} = 5055,01 \text{ мм}^3;$$

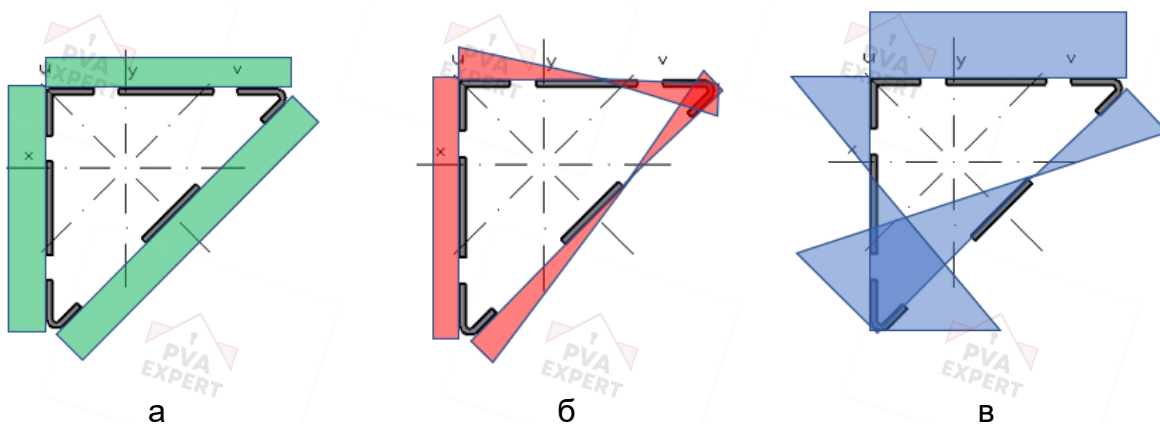
$$W_{unn} = 9018,27 \text{ мм}^3;$$

Геометрические характеристики на итерации 2 отличаются от геометрических характеристик на итерации 1 менее чем на 1%. Принимаем редуцированное сечение на итерации 2 за расчетное.

Пересчитаем распределение напряжений в редуцированном сечении:



Внутренние силовые факторы в расчетном сечении стойки (на уровне ~530 мм от опорной точки)



Нормальные напряжения (а – от продольной силы N, б – от момента M_y , в – от момента M_x)

Определим значения внутренних силовых факторов в расчетном сечении:

Нормальные напряжения от продольной силы N:

$$\sigma_N = \frac{N}{A_{nn}} = \frac{0,525 * 10^3}{378,2 * 10^{-6}} = 1,39 \text{ МПа}$$

Нормальные напряжения от момента M_y (сжатая зона):

$$\sigma_y = M_y \frac{x}{I_{y_{nn}}} = 0,00943 * 10^3 * \frac{31,31 * 10^{-3}}{470588,3 * 10^{-12}} = 0,627 \text{ МПа}$$

Нормальные напряжения от момента M_y (растянутая зона):

$$\sigma_y = M_y \frac{x}{I_{y_{nn}}} = 0,00943 * 10^3 * \frac{68,68 * 10^{-3}}{470588,3 * 10^{-12}} = 1,378 \text{ МПа}$$

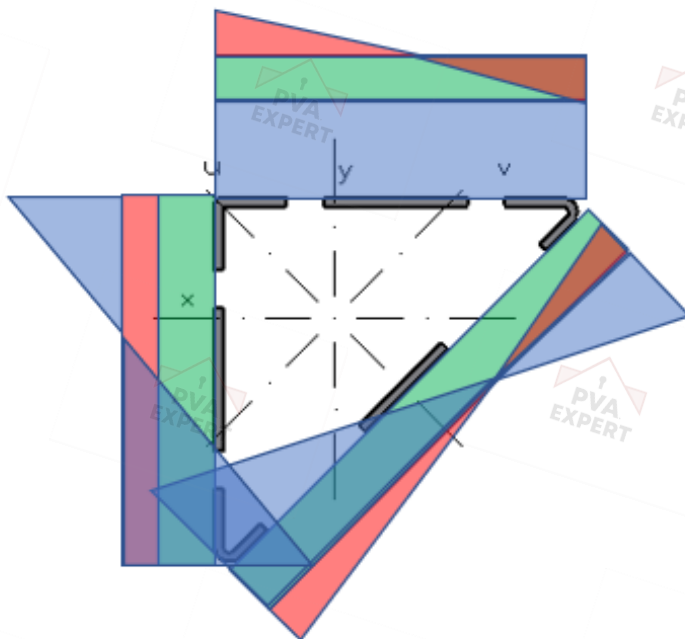
Нормальные напряжения от момента M_x (сжатая зона):

$$\sigma_x = M_x \frac{y}{I_{x_{nn}}} = 0,1028 * 10^3 * \frac{36,95 * 10^{-3}}{431404,1 * 10^{-12}} = 8,87 \text{ МПа}$$

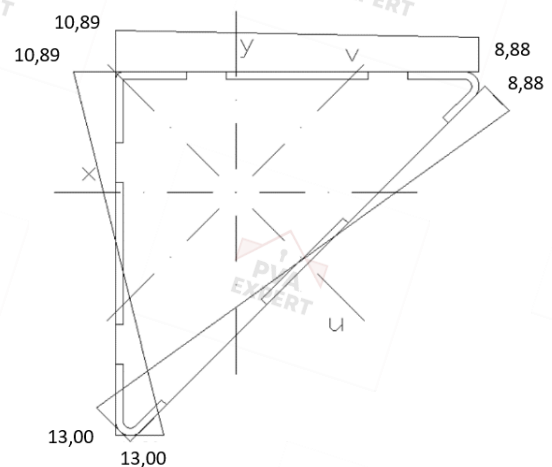
Нормальные напряжения от момента M_x (растянутая зона):

$$\sigma_x = M_x \frac{y}{I_{x_{nn}}} = 0,1028 * 10^3 * \frac{63,04 * 10^{-3}}{431404,1 * 10^{-12}} = 15,05 \text{ МПа}$$

Найдем результирующие нормальные напряжения:



а



б

Нормальные напряжения (а – наложение эпюр от продольной силы N, момента Mu, момента Mx; б – результирующая эпюра нормальных напряжений)

Определим коэффициент $\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$, равный отношению меньшего напряжения к большему согласно эпюрам напряжений.

Для стенки профиля, параллельной оси X:

$$\psi_x = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{8,88}{10,89} = 0,816$$

Для стенки профиля, параллельной оси Y проверка не требуется, т.к. стенка работает на изгиб и потери местной устойчивости при таком НДС в сечениях треугольных профилей СН-Т-100-2-REC, СН-Т-100-2-SQ, СН-Т-100-3-SQ не происходит.

Для стенки профиля, параллельной оси V проверка не требуется, т.к. стенка работает на изгиб и потери местной устойчивости при таком НДС в сечениях треугольных профилей СН-Т-100-2-REC, СН-Т-100-2-SQ, СН-Т-100-3-SQ не происходит. Определим коэффициент k_σ по таблице 2 СТО 36554501-___-2025.

Для стенки профиля, параллельной оси X:

$$K_{\sigma,x} = \frac{8,2}{(1,05 + \psi_x)} = \frac{8,2}{(1,05 + 0,816)} = 4,395$$

Определим критическое напряжение потери устойчивости профиля по формуле 49 СТО 36554501-___-2025.

Для стенки профиля, параллельной оси X:

$$\sigma_{cr,x} = k_{\sigma,x} \frac{\pi^2 E t^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot c^2} = 4,395 * \frac{3,14^2 * 200000 * 10^6 * 0,002^2}{12 * (1 - 0,3^2) * 0,1^2} = 317,76 \text{ МПа}$$

Определим условную гибкость стенок профиля.

Для стенки профиля, параллельной оси X:

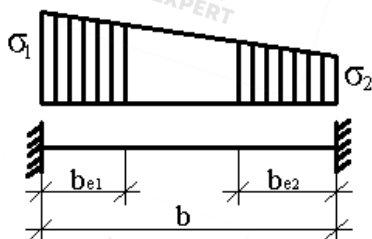
$$\bar{\lambda}_{p,x} = \sqrt{\frac{R_{yn}}{\sigma_{cr,x}}} = \sqrt{\frac{345}{317,76}} = 1,042$$

Определим коэффициент редукиции:

Для стенки профиля, параллельной оси X:

$$\rho_x = \frac{\bar{\lambda}_{p,x} - 0,055 \cdot (3 + \psi_x)}{\bar{\lambda}_{p,x}^2} = \frac{1,042 - 0,055 \cdot (3 + 0,816)}{1,042^2} = 0,766$$

Определим эффективную ширину b_{ef} для стенки профиля, параллельной оси X:

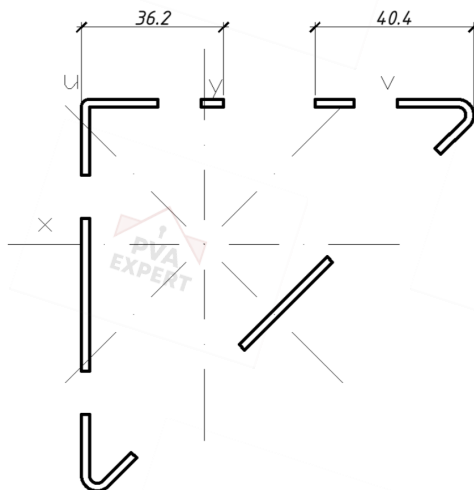


$$b_{ef} = \rho_x \cdot b = 0,766 \cdot 100 = 76,6 \text{ мм}$$

$$b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi_x} b_{ef} = \frac{2}{5 - 0,766} \cdot 76,6 = 36,21 \text{ мм}$$

$$b_{e2} = b_{ef} - b_{e1} = 77,3 - 36,43 = 40,44 \text{ мм}$$

Редуцированное сечение:



Проведем расчет на прочность по нормальным напряжениям при одновременном действии осевой силы с эксцентриситетом и изгибающих, в соответствии с п.6.3.2.2 СТО 36554501-___-2025:

$$\sigma = \frac{N}{A_{nn}} + \frac{Ne\sqrt{2}}{I_{xnn}} y \pm \frac{M_x}{I_{xnn}} y \pm \frac{M_y}{I_{ynn}} x \leq R_y \gamma_c$$

$$\frac{N}{A_{nn}} \pm \frac{Ne\sqrt{2}}{I_{xnn}} y \pm \frac{M_x}{I_{xnn}} y \pm \frac{M_y}{I_{ynn}} x = \frac{0,525 \cdot 10^3}{378,2 \cdot 10^{-6}} - \frac{0,525 \cdot 10^3 \cdot 0,01563 \cdot \sqrt{2}}{431404,1 \cdot 10^{-12}} \cdot 63,04 \cdot 10^{-3} -$$

$$- \frac{0,1028 \cdot 10^3}{431404,1 \cdot 10^{-12}} \cdot 63,04 \cdot 10^{-3} + 0,00943 \cdot 10^3 \cdot \frac{31,31 \cdot 10^{-3}}{470588,3 \cdot 10^{-12}} = - 39,93 \text{ МПа}$$

$$39,93 \text{ МПа} \leq R_y \gamma_c = 345 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется.

Для расчета на устойчивость в соответствии с п.6.3.3 СТО 36554501-____-2025:

Определим значения изгибающих моментов M_u и M_v от значений изгибающих моментов M_x и M_y в соответствии с п.6.2.2 СТО 36554501-____-2025:

$$M_{xv} = \frac{M_x}{\sqrt{\left(\frac{I_u \operatorname{tg} 45^\circ}{I_v}\right)^2 + 1}} \frac{0,1028 \cdot 10^3}{\sqrt{\left(\frac{659795,216 \cdot 10^{-12} \cdot 1}{240142,76 \cdot 10^{-12}}\right)^2 + 1}} = 0,035 \text{ кНм}$$

$$M_{yv} = \frac{M_y}{\sqrt{\left(\frac{I_u \operatorname{tg} 45^\circ}{I_v}\right)^2 + 1}} = 0,003 \text{ кНм}$$

$$M_{xu} = \frac{M_x \cdot I_u \operatorname{tg} 45^\circ}{\sqrt{I_u^2 \operatorname{tg}^2 45^\circ + I_v^2}} = 0,097 \text{ кНм}$$

$$M_{yu} = \frac{M_y \cdot I_u \operatorname{tg} 45^\circ}{\sqrt{I_u^2 \operatorname{tg}^2 45^\circ + I_v^2}} = 0,009 \text{ кНм}$$

$$M_u = M_{xu} + M_{yu} = 0,105 \text{ кНм}$$

$$M_v = M_{xv} + M_{yv} = 0,038 \text{ кНм}$$

Определим условную гибкость профиля:

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y / E} = 3,19$$

$$\lambda = l_0 / i = 1,97 / 0,02524 = 78,05$$

Определим относительный эксцентриситет:

$$M_v = N \cdot e + M_v = 0,525 \cdot 0,01563 + 0,038 = 0,046 \text{ кНм}$$

$$e = M_v / N = 0,046 / 0,525 = 88,74 \text{ мм}$$

$$m = eA / W_{vn} = 88,74 \cdot 378,2 \cdot 10^{-6} / 5055,01 \cdot 10^{-9} = 6,62$$

Определим коэффициент влияния формы сечения по формуле 31 СТО 36554501-____-2025:

$$\eta = (1,5 - 0,1m) - 0,02 \cdot (5 - m) \bar{\lambda} = (1,5 - 0,1 \cdot 6,62) - 0,02 \cdot (5 - 6,62) \cdot 3,19 = 0,942$$

Определим приведенный относительный эксцентриситет:

$$m_{ef} = \eta m = 0,942 \cdot 6,62 = 6,23$$

Определим коэффициент устойчивости при внецентренном сжатии φ_e по таблице В.1 приложения В:

$$\varphi_e = 0,139$$

Выполним проверку устойчивости φ_e в соответствии с п.6.3.3 СТО 36554501-____-2025:

$$\frac{N}{\varphi_e A_n R_y \gamma_c} \leq 1$$

$$\frac{N}{\varphi_e A_n R_y \gamma_c} = \frac{0,525 * 10^3}{0,139 * 378,2 * 10^{-6} * 345 * 10^6 * 1} = 0,0000289 \leq 1$$

Проверка устойчивости выполняется.