

## 2. Расчетно-конструктивный раздел

### 2.1 Характеристики здания и конструктивные решения

Здание станции представляет собой одноэтажное здание из легкосборных металлических конструкций прямоугольной в плане формы с размерами в осях 18 x 30 м. Высота до низа фермы принята 8,5 м (отметка +8,100).

Фундаменты под колонны каркаса запроектированы столбчатые на естественном основании. Фундамент выполнен из бетона В25 с маркой по морозостойкости F100 по водонепроницаемости W6.

Несущим каркасом здания являются поперечные рамы, состоящие из колонн и ферм. Шаг колонн 6 м. Пролет здания 18м.

Для станции к проектированию принята каркасная конструктивная схема : металлический каркас (колонны двутаврового сечения с шагом 6 м, фермы из спаренных уголков), с двускатным очертанием кровли.

Станция оборудована подвесным краном, грузоподъемностью 5тонн.

Для обеспечения продольной жесткости и устойчивости каркаса здания предусматривается система связей: вертикальные связи по колоннам с устройством связевого блока; связи по нижним и верхним поясам ферм, для обеспечения устойчивости конструкций покрытия; в коньковой части в местах расположения горизонтальных связей покрытия между фермами устанавливается вертикальная связь, между остальными фермами по длине навеса устанавливаются распорные ригели. Поперечная жесткость и устойчивость здания обеспечивается жесткой заделкой колонн каркаса в фундаментах. Узел опирания ферм на колонну шарнирный. Прочность элементов каркаса обеспечивается подбором сечений при проведении расчетов в соответствии с расчетной схемой.

В расчетно конструктивном разделе выполнен расчет фермы Ф1. Марка стали С345, расчетное сопротивление  $R_y=3250$  кгс/см<sup>2</sup>. Сечения элементов фермы выполнены из спаренных равнополочных уголков по ГОСТ 8509-93. Длина фермы по нижнему поясу 18м. Высота фермы в пролете 3,223 м.

					ВКР-02068982-08.03.01-38-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



## Расчет нагрузок:

### *Постоянная:*

Узловая постоянная нагрузка на ферму:

$$\text{Прогоны: } F_{\text{пр}} = q_{\text{пр}} \cdot B_{\text{ф}} \cdot \gamma_{\text{ф}} = 0,0355 \cdot 6 \cdot 1,05 = 0,224 \text{ кН},$$

где  $q_{\text{пр}}$  – вес прогона, кН/м;  $B_{\text{ф}}$  – шаг стропильных ферм, м;  $\gamma_{\text{ф}} = 1,05$ - коэффициент надежности по нагрузке.

$$\text{Панели: } F_{\text{пан}} = q_{\text{пан}} \cdot B_{\text{ф}} \cdot d \cdot \gamma_{\text{ф}} = 0,295 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,3 = 3,45 \text{ кН},$$

где  $q_{\text{пан}}$  – вес панели, кПа;  $B_{\text{ф}}$  – шаг стропильных ферм, м;  $d$  – расстояние между узлами фермы, м;  $\gamma_{\text{ф}} = 1,3$ - коэффициент надежности по нагрузке.

### *Полезная:*

$$F_{\text{пол}} = q_{\text{пол}} \cdot B_{\text{ф}} \cdot \gamma_{\text{ф}} = 0,7 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,3 = 8,2 \text{ кГ},$$

где  $q_{\text{пол}}$  – полезная нагрузка, кПа;  $B_{\text{ф}}$  – шаг стропильных ферм, м;  $d$  – расстояние между узлами фермы,  $\gamma_{\text{ф}} = 1,3$ - коэффициент надежности по нагрузке.

### *Временная (Снеговая):*

Нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия следует принимать по формуле [9, ф. 10.1]

$$S_0 = c_e c_t \mu S_g \quad (2.1)$$

где  $c_e = 1$  – коэффициент учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов, принимаемый в соответствии с [9, т.10.5-10.9];

$c_t = 1$  – термический коэффициент, принимаемый в соответствии с [9, т. 10.10];

$\mu = 1$  - коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с [9, т.10.4];

$S_g = 2$  кПа– нормативное значение веса снегового покрова на  $1\text{ м}^2$  горизонтальной поверхности земли, принимаемое в соответствии с [9, т. 10.2].

Нормативное значение веса снегового покрова  $S_g$  на  $1\text{ м}^2$  горизонтальной поверхности земли, принимается в зависимости от снегового района для территории РФ по данным [9, т.10.1].

$$S_0 = c_e c_t \mu S_g = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 2 \text{ кПа}$$

					ВКР-02068982-08.03.01-38-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		







## Формирование таблицы РСН:

В таблице расчетных сочетаний нагрузок используем все загрузки так как у нас все загрузки могут действовать одновременно.

Расчетные сочетания нагрузок

СП 20.13330.2011  Не учитывать сейсмiku для II-го ПС  Не учитывать особое загруз. для II-го ПС

	N загруз.	Наименование	Вид	Знакоперем.	Взаимоискл.	Козф. надежн.	Доля длительн.	1
1	1	Собственные вес	Постоянное (P)	+		1.0	1.0	1.0
2	2	Постоянные нагрузки	Постоянное (P)	+		1.0	1.0	1.0
3	3	Плезные	Постоянное (P)	+		1.0	1.0	1.0
4	4	Снеговая нагрузка	Постоянное (P)	+		1.0	1.0	1.0

Основное сочетание (I ПС)  
 Особое сочетание (I ПС)  
 Основное сочетание (II ПС)  
 Особое сочетание (II ПС)

$$P^d + \psi_{11} \cdot P_{11}^d + \sum_{i=2}^{n1} \psi_{1i} \cdot P_{1i}^d + \psi_{t1} \cdot P_{t1}^d + \psi_{t2} \cdot P_{t2}^d + \sum_{j=3}^{n2} \psi_{tj} \cdot P_{tj}^d$$

Козффициенты

Добавить

Рисунок 2.10 - Таблица РСН

## Результаты расчета:

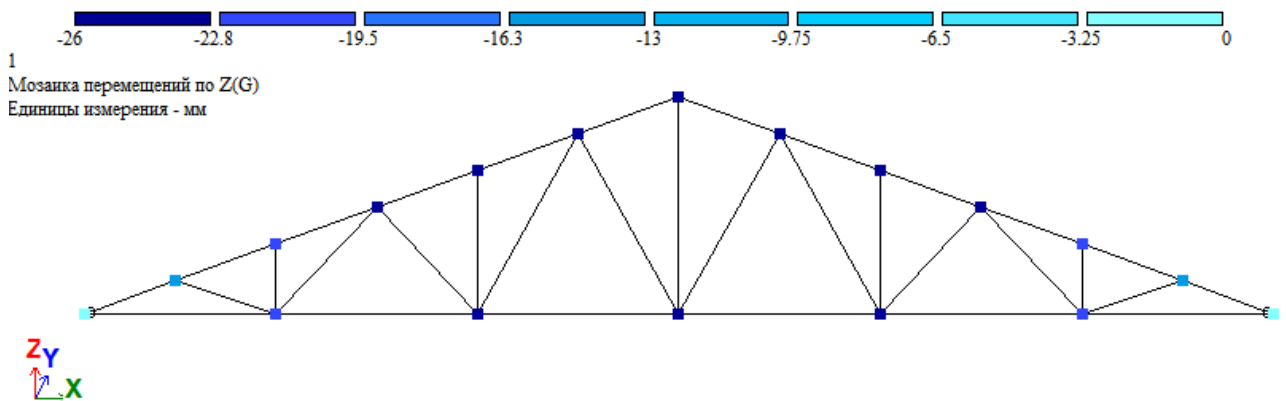


Рисунок 2.11 - Суммарные перемещения по Z

Пролет составляет 18м.

Отсюда предельный прогиб  $18000/250 = 72\text{мм}$  (СП 20.13330.2016 табл. Д1).

Суммарный прогиб полученный в результате расчета равен 26мм

$26\text{мм} < 72\text{мм}$  - Прогибы в пределах нормы.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР-02068982-08.03.01-38-19					

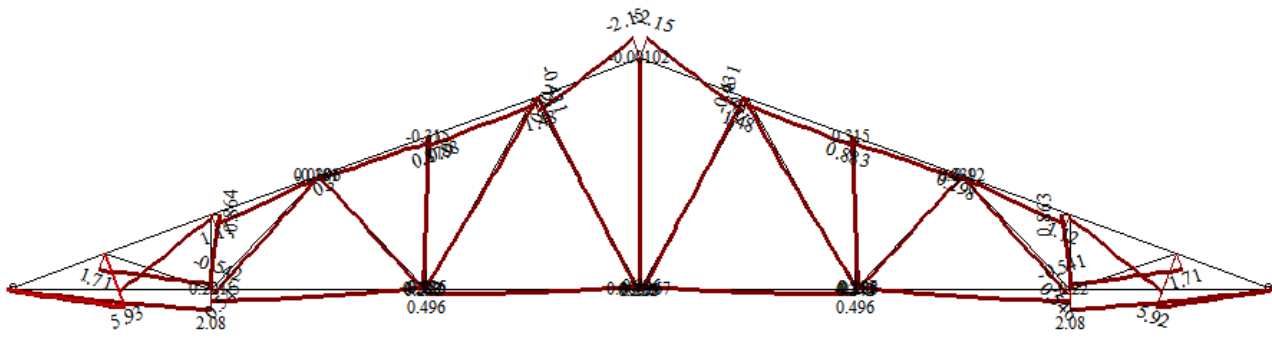


Рисунок 2.12 - Эпюры  $M_u$  (по РСН)

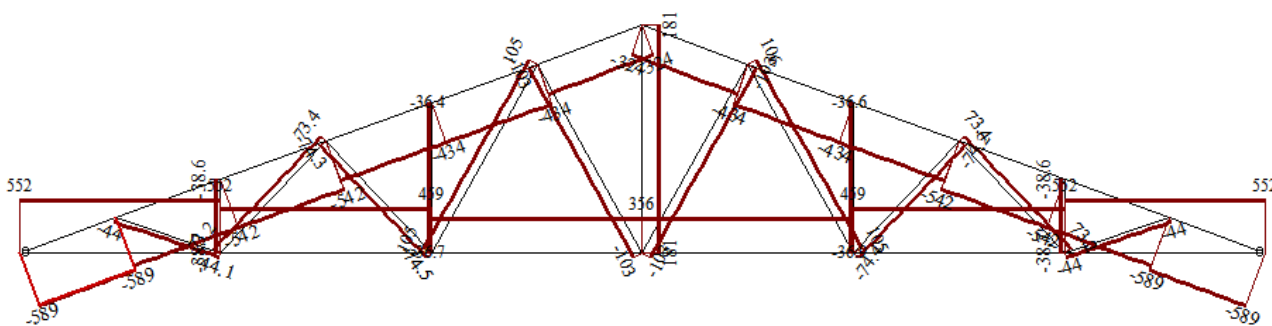


Рисунок 2.13- Эпюры  $N$  (по РСН)

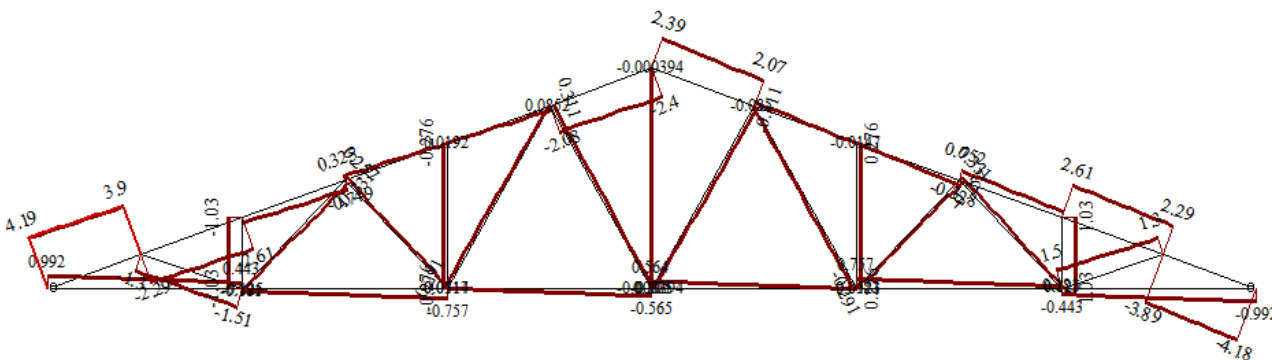


Рисунок 2.14 - Эпюры  $Q_z$  (по РСН)

Таблица 2.2 - Расчетные сочетания усилий в каждом элементе

Таблица РСУ (верхний пояс)			
№ элем	Усилия		
	N (кН)	$M_u$ (кН*м)	$Q_z$ (кН)
1	- 588.737	0.000	4.194
4	- 542.415	4.223	- 2.288
7	- 542.081	1.114	- 0.427
10	- 434.251	0.300	0.325
13	- 433.890	0.879	0.019
16	- 324.506	1.481	- 2.076
19	- 324.346	- 2.148	2.394
22	- 433.879	0.645	0.308

Таблица РСУ (Нижний пояс)			
№ элем	Усилия		
	N (кН)	$M_u$ (кН*м)	$Q_z$ (кН)
2	551.890	0.000	0.992
8	459.245	1.216	- 0.181
14	356.075	- 0.347	- 0.565
20	356.070	- 0.346	0.564
26	459.254	- 0.215	0.757
32	551.891	2.082	- 0.443

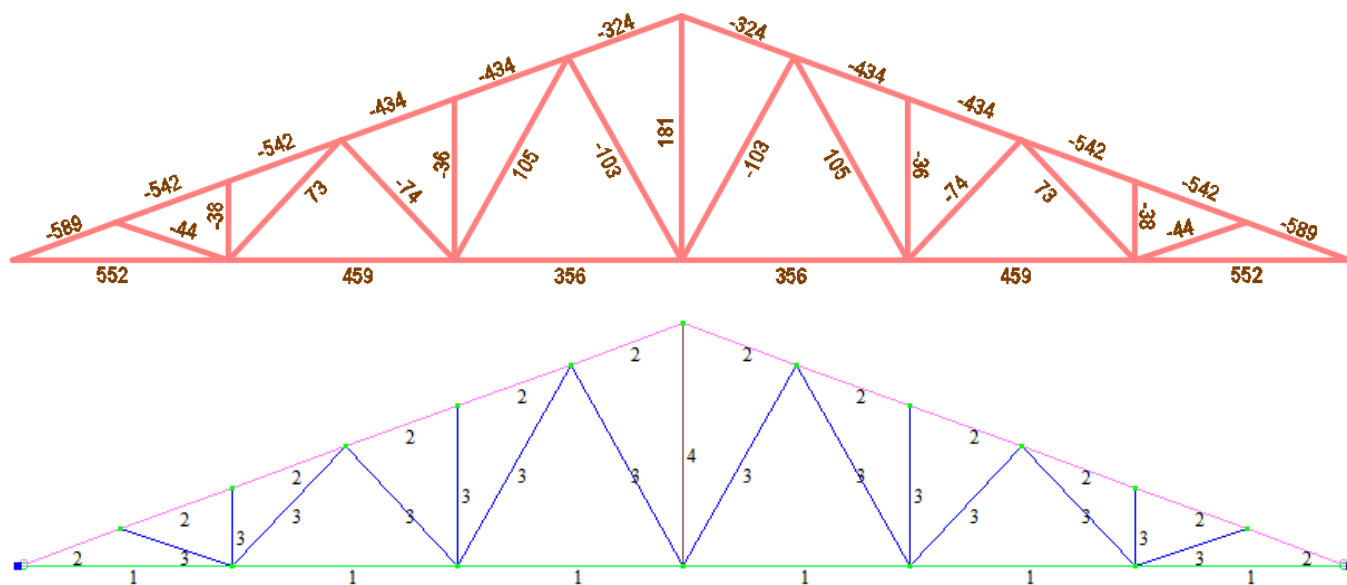


25	- 434.174	0.568	- 0.005
28	- 541.989	0.158	0.752
31	- 542.323	0.253	2.608
33	- 588.629	5.924	- 3.893

Таблица РСУ (Стойки)			
	Усилия		
№ элем	N (кН)	M <sub>y</sub> (кН*м)	Q <sub>z</sub> (кН)
5	- 38.698	0.221	- 1.028
11	- 36.702	0.283	- 0.276
17	180.682	0.000	0.000
23	- 36.896	- 0.283	0.276
29	- 38.551	0.863	1.027

Таблица РСУ (Раскосы)			
	Усилия		
№ элем	N (кН)	M <sub>y</sub> (кН*м)	Q <sub>z</sub> (кН)
3	- 43.994	1.708	- 1.300
6	73.197	0.545	- 0.125
9	- 74.286	- 0.101	0.257
12	105.108	- 0.186	0.291
15	- 102.673	- 0.431	0.311
18	102.937	0.216	- 0.105
21	105.627	0.401	- 0.085
24	- 74.417	0.242	- 0.051
27	73.436	0.039	0.331
30	- 44.048	- 0.541	1.505

### Расчетные усилия в стержнях, кН



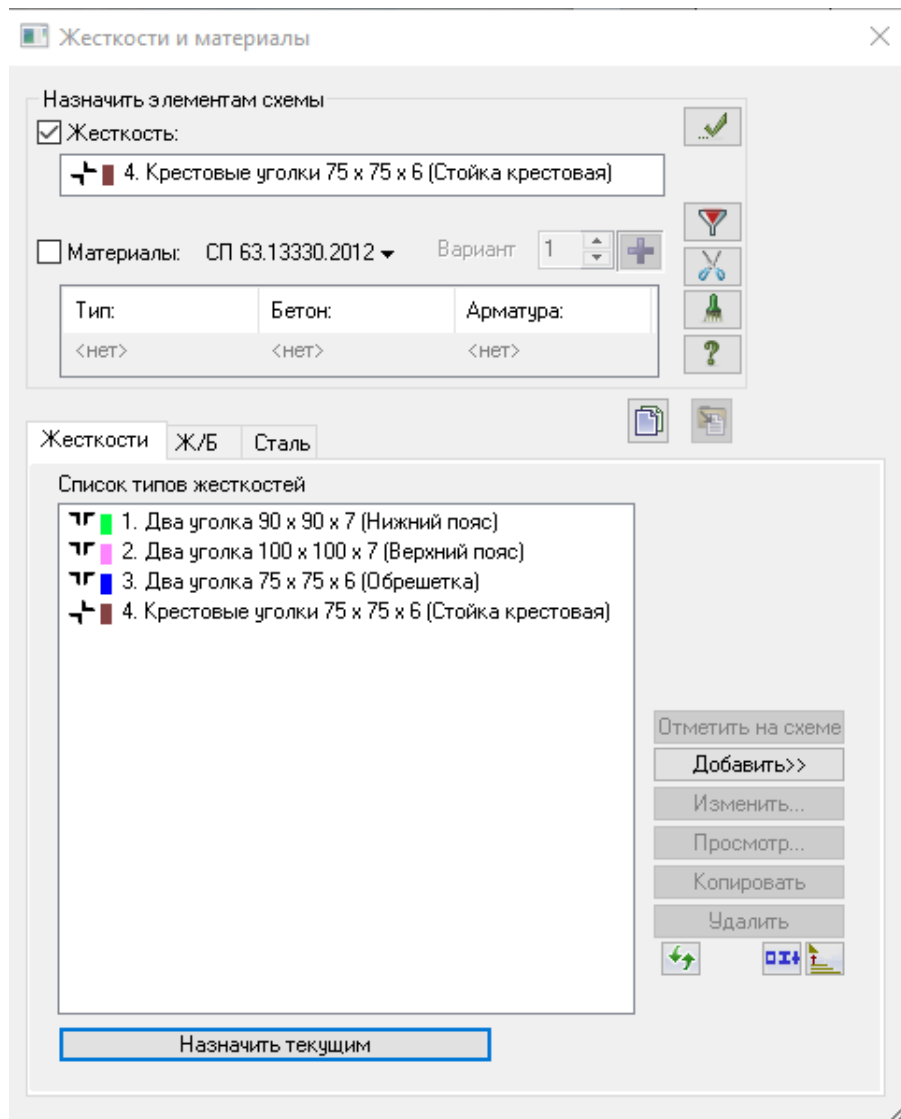


Рисунок 2.15 - Сечения элементов

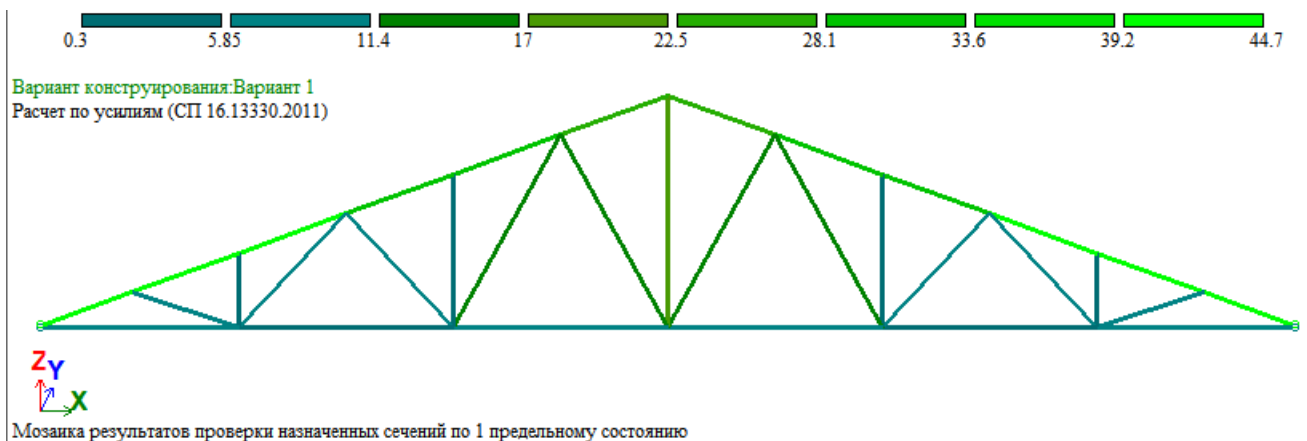


Рисунок 2.16 - Несущая способность элементов по I группе предельных состояний

						ВКР-02068982-08.03.01-38-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

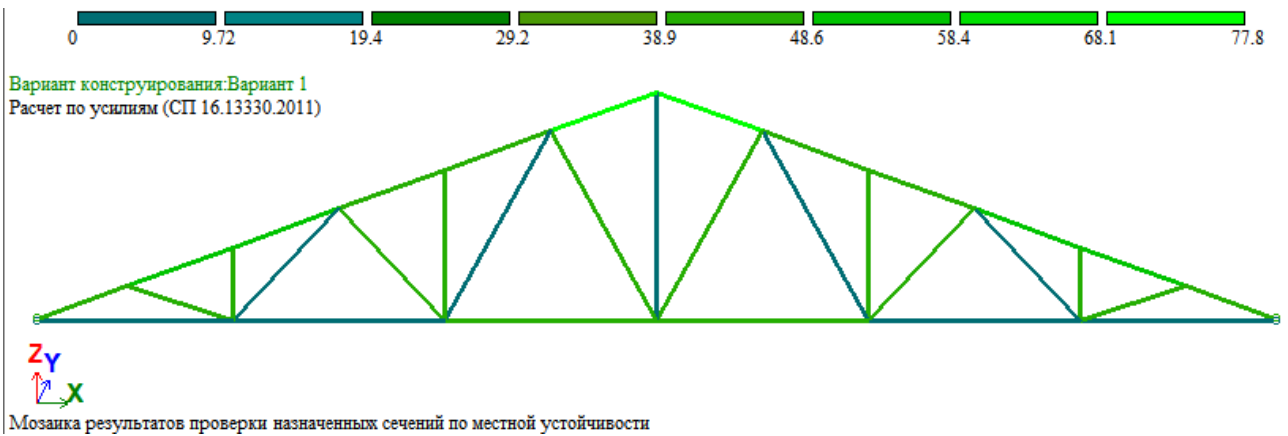


Рисунок 2.17 - Местная устойчивость назначенных элементов

По результатам расчета в ПК Лира, несущая способность назначенных элементов удовлетворяют условия жесткости и прочности.

*Подбор и проверка полученных сечений стержней фермы ручным методом.*

Расчет элементов фермы ведется только по осевым усилиям  $N$ , т.к. при расчете легких ферм предполагается, что в узлах системы - идеальные шарниры, оси всех стержней прямолинейны, расположены в одной плоскости и пересекаются в одной точке ( в центре узла).

Сечения сжатых стержней назначаем исходя из требуемой площади и радиусов инерции сечения.

Требуемую площадь находят из условия устойчивости:

$$N / (\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c) \leq 1 \tag{2.4}$$

$$A_{mp} = \frac{N}{\varphi \cdot R \cdot \gamma_c}, \quad ; \quad \lambda_x = \frac{l_x}{i_x}, \quad \lambda_y = \frac{l_y}{i_y} \tag{2.5}$$

где:  $\varphi$  – коэф. продольного изгиба центрально-сжатого элемента, принимаемый в зависимости от принятой гибкости и расчетного сопротивления стали  $R$ , [8, табл. 72];

При предварительном подборе можно принять для элементов фермы гибкость стержня  $\lambda = 50 \dots 90$  - для поясов и  $\lambda = 100 \dots 120$  - для решетки. Большие значения гибкости принимаются при меньших усилиях.

Если гибкость стержня предварительно была задана не правильно и проверка показала перенапряжение или значительное (больше 5-10%) недонапряжение, то необходимо провести корректировку сечения, принимая промежуточное между предварительно заданной и фактической значениями гибкости.

Местную устойчивость сжатых элементов, выполненных из прокатных сечений, можно считать обеспеченной, поскольку из условий прокатки толщина полок и стенок профилей больше, чем требуется из условий устойчивости.

Сечения растянутых стержней назначаем исходя из требуемой площади сечения:

$$A_{тп} = \frac{N}{R\gamma_c}.$$

Необходимо произвести проверки принятых сечений:

-по прочности и устойчивости стержней ферм:

$$\sigma_{\max} \leq R \cdot \gamma_c, \quad (2.6)$$

где:  $\sigma_{\max} = \frac{N}{\varphi_{\min} \cdot A_{факт}}$  – для сжатых стержней,

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A_{нт}} \text{ – для растянутых стержней;}$$

-гибкости стержней ферм  $\lambda \leq [\lambda]$ ,

где:  $[\lambda]$  - предельная гибкость сжатых или растянутых элементов [8, табл.19 и 20];

-соблюдение конструктивных требований: минимально допустимый размер уголка 50×50×5 мм;

-условие экономии металла: необходимо стремиться к тому, чтобы окончательно подобранное сечение элемента фермы имело параметры, близкие к предельным.

Расчет составных элементов из уголков, соединенных вплотную или через прокладки, следует выполнять как сплошно стенчатых при условии, что наибольшие расстояния на участках между приваренными планками (в свету) или между центрами крайних болтов не превышают:

					ВКР-02068982-08.03.01-38-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

-для сжатых элементов 40 i;

-для растянутых элементов 80 i.

*Выполним расчет наиболее нагруженных элементов:*

*Верхний пояс , 1 элемент.*

N=588 кН, С345, R<sub>y</sub>=32,5 кН/см<sup>2</sup>, γ<sub>c</sub>=0,95 [8, табл. 6].

Требуемая площадь:

$$A_{mp} = \frac{588}{2 \cdot 32,50 \cdot 0,95} = 9,52 \text{ см}^2$$

Принимается 100x100x7 с A<sub>ф</sub>=13,75 см<sup>2</sup> .

$$\sigma_{\max} = \frac{588}{2 \cdot 13,75 \cdot 0,95} = 22,5 \text{ кН/см}^2$$

22,5 кН/см<sup>2</sup> < 32,5 кН/см<sup>2</sup> , условие прочности выполнено.

*Запас 30.7%*

*Нижний пояс , 2 элемент.*

N=551 кН, С345, R<sub>y</sub>=32,5 кН/см<sup>2</sup>, γ<sub>c</sub>=0,95 [8, табл. 6].

Требуемая площадь:

$$A_{mp} = \frac{551}{0,975 \cdot 2 \cdot 32,5 \cdot 0,95} = 9,15 \text{ см}^2$$

Принимается 90x90x7 с A<sub>ф</sub>=12,28 см<sup>2</sup> .

$$\lambda_x = \frac{300}{23} = 13, \quad \lambda_y = \frac{300}{23} = 13$$

Φ<sub>min</sub>=0,975 [8, табл. 72].

551/0,975 · 2 · 12,28 · 32,5 · 0,95 = 0,74 ≤ 1, условие устойчивости выполнено.

$$\sigma_{\max} = \frac{551}{0,975 \cdot 2 \cdot 12,28 \cdot 0,95} = 24,2 \text{ кг/см}^2$$

24,2 кг/см<sup>2</sup> < 32,5 кг/см<sup>2</sup> , условие прочности выполнено.

*Запас 25.4%*

*Раскос , 18 элемент.*

N=105 кН, С345, R<sub>y</sub>=32,5 кН/см<sup>2</sup>, γ<sub>c</sub>=0,95 [8, табл. 6].

Требуемая площадь:

					ВКР-02068982-08.03.01-38-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$A_{mp} = \frac{105}{0,963 \cdot 2 \cdot 32,5 \cdot 0,95} = 1,74 \text{ см}^2$$

Принимается 75x75x6 с  $A_{\phi}=8,78 \text{ см}^2$ .

$$\lambda_x = \frac{300}{25} = 12, \quad \lambda_y = \frac{300}{25} = 12$$

$\Phi_{\min}=0,963$  [8, табл. 72].

$105 / 0,963 \cdot 2 \cdot 12,28 \cdot 32,5 \cdot 0,95 = 0,14 \leq 1$ , условие устойчивости выполнено.

$$\sigma_{\max} = \frac{105}{0,963 \cdot 2 \cdot 12,28 \cdot 0,95} = 4,61 \text{ кг/см}^2$$

$4,61 \text{ кг/см}^2 < 32,5 \text{ кг/см}^2$ , условие прочности выполнено.

*Запас 85,7%*

*Стойка, 17 элемент.*

$N=180 \text{ кН}$ , С345,  $R_y=32,5 \text{ кН/см}^2$ ,  $\gamma_c=0,95$  [8, табл. 6].

Требуемая площадь:

$$A_{mp} = \frac{180}{0,963 \cdot 2 \cdot 32,5 \cdot 0,95} = 2,98 \text{ см}^2$$

Принимается 75x75x6 с  $A_{\phi}=8,78 \text{ см}^2$ .

$$\lambda_x = \frac{300}{25} = 12, \quad \lambda_y = \frac{300}{25} = 12$$

$\Phi_{\min}=0,963$  [8, табл. 72].

$180 / 0,963 \cdot 2 \cdot 12,28 \cdot 32,5 \cdot 0,95 = 0,24 \leq 1$ , условие устойчивости выполнено.

$$\sigma_{\max} = \frac{180}{0,963 \cdot 2 \cdot 12,28 \cdot 0,95} = 7,9 \text{ кг/см}^2$$

$7,9 \text{ кг/см}^2 < 32,5 \text{ кг/см}^2$ , условие прочности выполнено.

*Запас 75,7%*

По результатам расчетов как в ПК Лира, так и ручным методом, видим, что несущая способность заданных элементов удовлетворяю условиям прочности и жесткости.

					ВКР-02068982-08.03.01-38-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		