

## INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE

on the theme " *Architecture is the Abode of Time* "which will be held at  
Samarkand State Architecture and Construction University

### ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ СТЕРЖНЯ ВЕРХНЕГО ПОЯСА БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ФЕРМ НА ЕЁ МАССУ

Самаркандский государственный архитектурно-строительный  
университет, г. Самарканд, Узбекистан  
А.С. Аслиев, М. А. Балгаева

**Аннотация:** Целью исследования является проектирование большепролетных стальных ферм с изменением формы стержней верхнего пояса, который приводит к уменьшения веса конструкций. Для этого нами были исследованы фермы полигонального очертания пролетом 48 м, у которых панели верхнего пояса в середине имеют выгиб вверх. Расчеты показывают, что если сечения стержней верхнего пояса фермы выбрать в виде составной коробки из стальных листов, то можно достичь экономии материала на 26 %.

**Ключевые слова:** большепролетные фермы, верхний пояс, изгибающий момент, площадь сечение, экономия металла.

**Введение.** С развитием строительной индустрии появляется необходимость в строительстве большепролетных зданий и сооружений. При проектировании большепролетных покрытий необходимо учесть следующие требования первую очередь экономичность, оптимальная форма сечения и легкость конструкции, простота изготовления и монтаж. Для выполнения этого инженерам проектировщикам поставлена огромная ответственность и большие надежды. В настоящее время при возведение большепролетных зданий, имеются возможности, применять совершенно эффективные, раньше не применяемые, конструкции и конструктивные решения.

**Постановка задачи.** В статье излагаются исследования влияния момента в панелях верхнего пояса большепролетной стальной фермы. Уменьшение изгибающего момента, возникают не от узловых нагрузок, а при уменьшении расчетной площади сечения верхнего пояса, сечение стержней верхнего принято в виде коробки из стальных листов, которая приводит к уменьшению массы верхнего пояса и следовательно всей конструкции. Они возникают за счёт обратного изгиба стержней верхнего пояса, создавая заранее выгиб вверх. Для этого было принято большепролётная полигональная ферма с пролётом  $L=48$  м. Оптимальная высота фермы принята  $h_f=6$ м. Рассмотрены два варианта ферм; первый вариант стальная полигональная ферма с прямыми стержнями верхнего пояса (рис.1); второй вариант такая же ферма со стержнями, которые имеют в середине выгиб вверх ( $f=5$  см, 10 см, 15 см, 20 см) верхнего пояса (рис.2); Фермы в обоих вариантах находятся в одинаковых условиях; одинаковая сосредоточенная нагрузка, одинаковое расчетное сопротивление материала стержня стали С235 ( $R_y = 22.5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ ); сечение коробчатое прямоугольное из сварных листов. Сосредоточенные нагрузки  $F=q \cdot d \cdot B=4,27 \cdot 3 \cdot 6=76,86$  кН расположены через каждые 3 м; шаг между фермами  $B=6$  м.

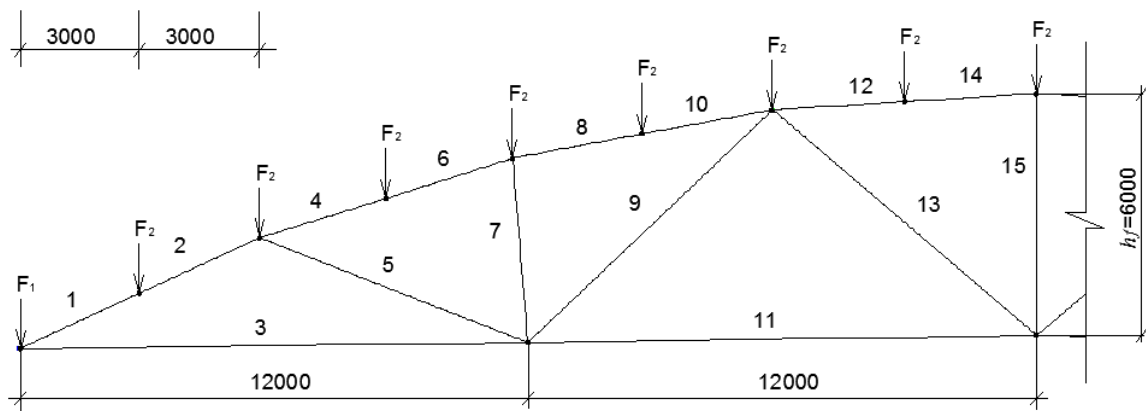


Рис. 1. Стальная полигональная ферма с прямыми стержнями панели верхнего пояса  
(1-вариант)

Fig.1. Steel polygonal truss with straight rods of the top girder panel (1 variant)

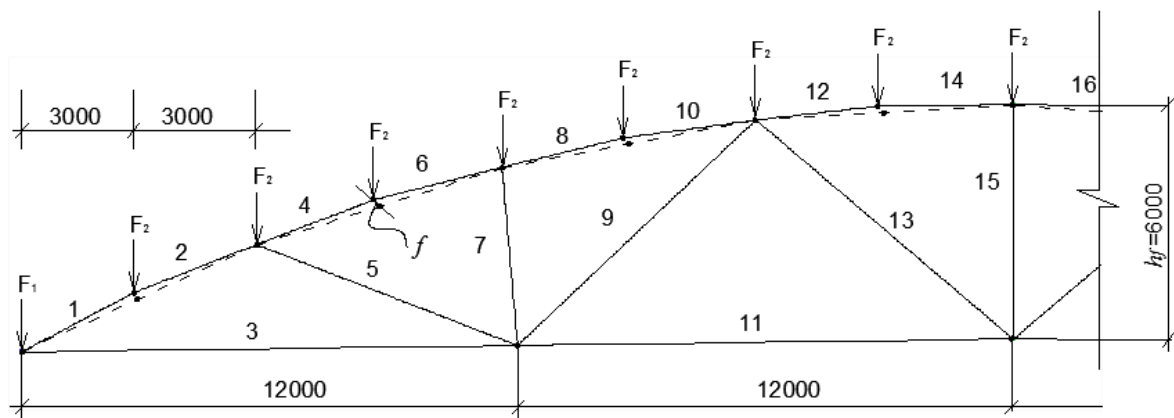


Рис.2. Стальная полигональная ферма с изогнутыми стержнями панели верхнего пояса  
(2-вариант)

Fig.2. Steel polygonal truss with curved rods of the top girder panel (2-variant)

**Метод.** Стержни верхнего пояса фермы находятся в сложных напряженно-деформированном состоянии, они одновременно сжимаются и изгибаются от воздействия внеузловой сосредоточной нагрузки, которая применена в середине стержня.

Усилия в стержнях фермы от сосредоточных узловых и внеузловых нагрузок для ферм с прямыми панелями и изогнутыми панелями верхнего пояса приведены в табл. 1. Для решения этой задачи была использована компьютерная программа «Lira Sapr 2017». В таблице приводятся усилия для верхнего пояса для двух вариантов и их сравнение.

Таблица 1

Высота	Выгиб	Стержни ферм								
H	f		1	2	4	6	8	10	12	14
H=6 м	Прямая	M	-1688	7615	-2225	6492	-4798	5793	-4258	5952
		N	1236,93	1208,95	1211,71	1191,42	1173,46	1161,16	1182,45	1178,33
		Q	30,62	-30,61	28,78	-35,41	34,81	-31,37	33,6	-33,6
	5 см	M	-957	3940	981	3997	-2430	3353	-1966	3780
		N	1225,28	1197,17	1204,66	-1184,5	1166,94	1154,59	1177,48	1173,36
		Q	16,58	-8,28	10,58	-19,64	19,56	-15,95	19,47	-19,5
	10 см	M	-247	345	4176	1560	74	947	304	1613
		N	1213,49	1184,99	1197,36	1177,38	1160,23	1147,82	-1172,4	1168,27

		Q	3,71	13,49	-7,67	-4,33	4,19	-1	5,16	-5,82
		M	444	-3168	7359	-821	2270	-1422	2551	-536
	15 см	N	-	-	-	-	-	-	-	-
		Q	1201,56	1172,44	1189,78	1170,08	1153,33	1140,87	1167,19	1163,06
		Q	-10,97	34,72	-25,95	10,53	-11,3	13,48	-9,35	7,44
	20 см	M	1116	-6601	10527	-318	4601	-3756	4778	-2670
		N	-1189,5	-	-	-	-	-	-	-
		Q	-24,47	55,37	-44,25	24,95	-26,9	27,5	-24,03	20,3

Примечание: В таблицы приведены нагрузки на половину фермы.

Если принять коробчатое прямоугольное сечение для верхнего пояса фермы, то площадь сечение определяется следующей формулой:

$$A = 2 \cdot b_f \cdot t_f + 2 \cdot h_1 \cdot t_w \quad (1)$$

Чтобы найти необходимую площадь составного коробчатого сечение мы должны сопоставить толщину и высоту стальных листов так, чтобы они конечном результате должны быть оптимальными.

Прочность панели верхнего пояса можно выразить следующей формулой по направление оси X :

$$\sigma_x = \frac{N}{A \cdot \varphi \cdot \gamma_c} \leq R_y \quad (2)$$

по направление оси Y :

$$\sigma_y = \frac{N}{c_1 \cdot A \cdot \varphi_e} \quad (3)$$

$$\text{где, } c_1 = \frac{\beta}{1 + \alpha \cdot m_1}; \beta = \sqrt{\frac{\gamma_c}{\gamma_y}}; \alpha = 0.55 + 0.05 \cdot m_1;$$

Момент сопротивления прямоугольного сечения определяется

Рис. 3. Fig.3.

следующей формулой:

$$W_x = \frac{bh^3 - b_1h_1^3}{6h} \quad (4)$$

Момент инерция :

$$J_x = \frac{bh^3 - b_1h_1^3}{12}; J_y = \frac{hb^3 - h_1b_1^3}{12}; \quad (5)$$

Требуемая предельная гибкость:

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x}; \lambda_y = \frac{l_y}{i_y}; \quad (6)$$

где,  $i_x$  и  $i_y$  – радиус инерции.

Условная гибкость стержня и относительный эксцентриситет:

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}}; \quad (7)$$

$$m_x = \frac{e}{\rho} = \frac{M \cdot A}{N \cdot W}; \quad (8)$$

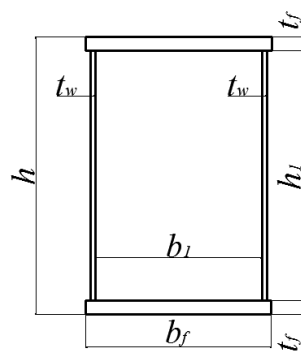
Коэффициент влияние формы сечения :

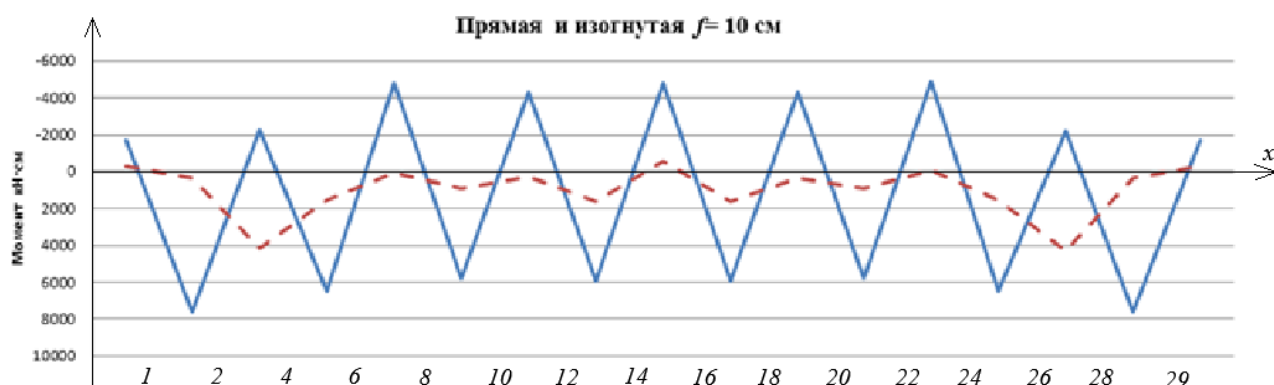
$$\eta = (1.75 - 0.1 \cdot m_x) - 0.02(5 - m_x)\bar{\lambda}_x; \quad (9)$$

$$m_1 = \eta \cdot m_x; \quad (10)$$

Далее по таблице определяем коэффициент  $\varphi_e$  и проверяем на прочность по формулам (2), (3).

**Результат.** По приведенным выше формулам определены самая оптимальная высота выгиба из всех вариантов.





**Рис. 4. Сравнительная эпюра изгибающего момента в стержнях верхнего пояса**  
(высота изгиба в середине панели  $f=10$  см;)

Fig.4. Comparative bending moment diagram of the top girdle rods (bending height in the middle of the panel  $f=10$  cm;)

— эпюра моментов для фермы 1-го варианта ,

----- эпюра моментов для фермы 2-го варианта

Здесь играет важную роль разница изгибающего момент по сравнению с прямыми панелями и изгибающими панелями верхнего пояса фермы. В следующей таблице показаны эти результаты:

**Таблица 2**

$f$	Момент
5 см	$\Sigma=17418$ кН·см
<b>10 см</b>	<b><math>\Sigma=33456</math> кН·см</b>
15 см	$\Sigma=20250$ кН·см
20 см	$\Sigma=3882$ кН·см

Можно отметить, что при создании обратного выгиба панелей верхнего пояса, значение изгибающих моментов значительно уменьшаются, а продольная и поперечная силы в стержнях имеют тенденцию к уменьшению. (табл.1). Если учесть изменение изгибающего момента только в верхнем поясе, то результат изменения площади сечения стержня показано в табл.3.

**Таблица 3**

Номер стержня	Площадь сечений (Прямая)	Площадь сечений (Изогнутая)
	$A_{\phi}, \text{см}^2$	$A_{\phi}, \text{см}^2$
1	120,5	72,64
2	120,5	72,64
4	111,6	97,2
6	111,6	90,0
8	102,7	72,64
10	102,7	72,64
12	102,7	72,64
14	102,7	90,0

**Сравнение напряжений в обоих вариантах Таблица 4**

Номер стержня	Напряжение (Прямая)		Напряжение (Изогнутая)	
	$\sigma_x \leq R_y, \text{кН/см}^2$	$\sigma_y \leq R_y, \text{Н/см}^2$	$\sigma_x \leq R_y, \text{кН/см}^2$	$\sigma_y \leq R_y, \text{Н/см}^2$
1	$21.16 \leq 22.5$	$22.10 \leq 22.5$	$21.62 \leq 22.5$	$21.59 \leq 22.5$
2	$21.16 \leq 22.5$	$22.10 \leq 22.5$	$21.12 \leq 22.5$	$21.19 \leq 22.5$
4	$20.96 \leq 22.5$	$21.4 \leq 22.5$	$21.50 \leq 22.5$	$21.78 \leq 22.5$
6	$20.96 \leq 22.5$	$21.4 \leq 22.5$	$18.84 \leq 22.5$	$19.40 \leq 22.5$

8	$21.13 \leq 22.5$	$21.87 \leq 22.5$	$20.67 \leq 22.5$	$20.30 \leq 22.5$
10	$21.13 \leq 22.5$	$21.87 \leq 22.5$	$20.97 \leq 22.5$	$21.22 \leq 22.5$
12	$21.79 \leq 22.5$	$22.36 \leq 22.5$	$20.89 \leq 22.5$	$20.86 \leq 22.5$
14	$21.79 \leq 22.5$	$22.36 \leq 22.5$	$18.76 \leq 22.5$	$19.33 \leq 22.5$

**Общая масса верхнего пояса фермы Таблица 5**

Номера стержня	Фактическая масса ,кг (прямая)	Требуемая масса , кг (Изогнутая)
1	-	342,1
2	1135,1	342,1
4	-	457,8
6	1051,3	423,9
8	-	342,1
10	967,4	342,1
12	-	342,1
14	967,4	423,9
Итого:	4121,2	3016,1
	экономия	-1105,1 кг (-26,81%)

**Вывод.** Результаты сравнения вариантов показывают, что фермы, у которых панели верхнего пояса изогнуты вверх имеют значительную экономию металла верхнего пояса фермы на 1105,1 ·2=2210,2 кг(табл.5). Из выше проведенных исследований можно сделать вывод, что полигональная большепролетная ферма у которой панель верхнего пояса заранее изогнута на оптимальную величину, имеет экономию материала на 26,81 % по отношению к обычной ферме такого же очертания и размера, в одинаковых работающих условиях.

#### **Список литературы:**

1. КМК 2.01.03-19 “Строительство в сейсмических районах” / Министерство строительства Республики Узбекистан/, Ташкент, 2019.
2. Ю.И. Кудишин. Металлические конструкции. **М.:** Академия, **2008. 682 с.**
3. В.В. Маслов. Основы металлических конструкций. М.: Высшая школа. 2002. 544 с.
4. Справочник конструктора «Стальные конструкции», под редакцией Шумакова 2004 г.
5. Е.И. Беленя. Металлические конструкции. М. : Стройиздат, 1986. 560 с.
6. Металлические конструкции: Справочник проектировщика. 2-е изд. Под редакцией Мельникова М.П.– Москва, Стройиздат. 1980.– 776с.