

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

Самаркандинский 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 уменьшению 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 проектирование 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, 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 конструкций. 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 ферм 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 ($R_y = 22.5 \frac{кН}{см^2}$); 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.

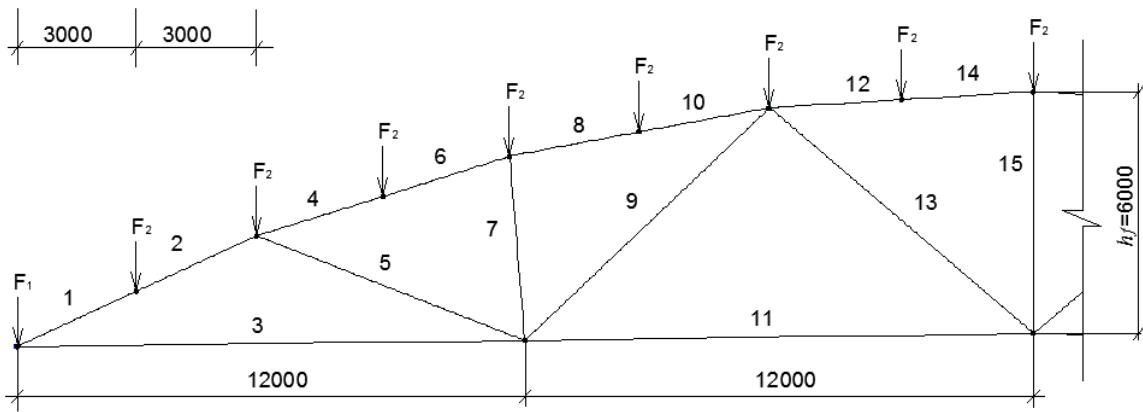


Рис. 1. Стальная полигональная ферма с прямыми стержнями панели верхнего пояса
(1-вариант)

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

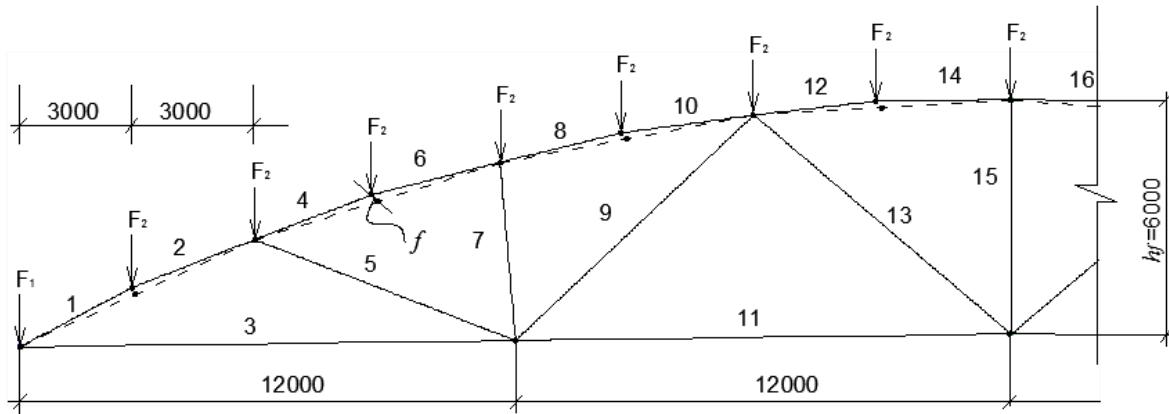


Рис.2. Стальная полигональная ферма с изогнутыми стержнями панели верхнего пояса
(2-вариант)

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 сосредоточенной нагрузки, которая применена в середине стержня.

Усилие в стержнях фермы от сосредоточенных 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 усилие 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	
			-	-	-	-	-	-	-	-	
			1236,93	1208,95	1211,71	1191,42	1173,46	1161,16	1182,45	1178,33	
	5 см	M	30,62	-30,61	28,78	-35,41	34,81	-31,37	33,6	-33,6	
			-957	3940	981	3997	-2430	3353	-1966	3780	
			-	-	-	-	-	-	-	-	
	10 см	N	1225,28	1197,17	1204,66	-1184,5	1166,94	1154,59	1177,48	1173,36	
			16,58	-8,28	10,58	-19,64	19,56	-15,95	19,47	-19,5	
			M	-247	345	4176	1560	74	947	304	1613
			N	-	-	-	-	-	-1172,4	-	1168,27

		Q	3,71	13,49	-7,67	-4,33	4,19	-1	5,16	-5,82
15 см	M	444	-3168	7359	-821	2270	-1422	2551	-536	
	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 в 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 :

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

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 φ_e и проверяем на прочность по формулам (2), (3).

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

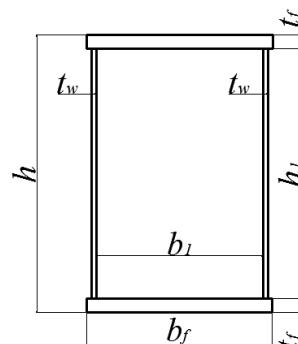




Рис. 4. Сравнительная эпюра изгибающего момента в стержнях верхнего пояса

(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 момента по сравнение 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
10 см	$\Sigma=33456$ кН·см
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_{ϕ} , см ²	A_{ϕ} , 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)	
	$\sigma_x \leq R_y$, кН/см ²	$\sigma_y \leq R_y$, Н/см ²	$\sigma_x \leq R_y$, кН/см ²	$\sigma_y \leq R_y$, 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 $1105,1 \cdot 2 = 2210,2$ 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 сеймических 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.