РАЗДЕЛ VIII. РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Грузков А.А., Соляник П.Е., Вернин Н.А.

Технико-экономический анализ стропильных стальных ферм различного очертания

Дальневосточный федеральный университет
(Россия, Владивосток)

doi: 10.18411/lj-04-2020-15

idsp: ljournal-04-2020-15

Аннотация

Приведен сравнительный анализ конструкций фермы с параллельными поясами, треугольного и трапециевидного очертания при пролете 24 м из углового профиля. Расчет и подбор сечений элементов производился в программном комплексе SCAD Office. Ведется расчет заводской стоимости ферм с учетом основных материалов и изготовления, что дает возможность определить экономическую целесообразность выбора конструкции ферм при пролете 24 м для всех снеговых районов. Сделан вывод, относительно эффективности и целесообразности конструкций данных ферм.

Ключевые слова: треугольная ферма, ферма с параллельными поясами, трапециевидная ферма, стальная ферма, трудоёмкость изготовления, заводская стоимость, стоимость основных материалов, технико-экономический анализ.

Abstract

A comparative analysis of truss structures with parallel belts, triangular and trapezoidal outlines with a span of 24 m from the corner profile is given. The calculation and selection of cross sections of elements was performed in the SCAD Office software package. The factory cost of farms is calculated taking into account the main materials and manufacturing, which makes it possible to determine the economic feasibility of choosing the design of farms with a span of 24 m for all snow areas. The conclusion is made regarding the effectiveness and expediency of these truss.

Keywords: triangular truss, truss with parallel belts, trapezoidal truss, steel truss, labor intensity of manufacturing, factory cost, cost of basic materials, technical and economic analysis.

Известно, что экономичные по расходу материала фермы повторяют очертания эпюры балочных моментов, и для определения целесообразности выбора очертания фермы при проектировании необходимо отталкиваться от ее очертания, надежности и экономичности.

Треугольные применяют для создания большого уклона кровли и выступающих консолей. В остальных случаях применять их применение не рекомендуется из-за большого количества недостатков в конструкции.

Фермы с параллельными поясами имеют значительные конструктивные преимущества: равные длины стержней поясов и решетки, минимальное количество стыков поясов, а одинаковая схема узлов, обеспечивающая повторяемость деталей, предоставляющая возможность унификации конструктивных схем, что содействует индустриализации их изготовления.

Фермы трапециевидного очертания с небольшим уклоном верхнего пояса точнее соответствует эпюре изгибающих моментов и имеют конструктивные преимущества, такие как: допустимость устройства жестких рамных узлов и отсутствие элементов в середине решетки, относительно треугольной фермы.

Экономичность же зависит от заводской стоимости, в которую входят цена основных материалов, трудоемкость и стоимость изготовления конструкций. С целью исследования данной проблемы были запроектированы треугольная, трапециевидная и ферма с параллельными поясами для промышленного здания, с шагом 6 м, пролетом 24 м. Сбор нагрузок осуществлялся согласно своду правил [3].

Расчет технико-экономических показателей ферм в данной статье производится по алгоритму определения заводской стоимости металлических конструкций, описанному в монографии Я. М. Лихтарникова [5]. Сечения элементов ферм приняты из парных равнополочных уголков [4], марка стали – С245. Расчетные схемы ферм представлены на рисунке 1. Сбор нагрузок представлен в таблицах 1 и 2, собственный вес фермы уточняется во время расчета при подборе сечений.

Рисунок 1 – Расчетные схемы стропильных ферм

Таблица 1

Сбор постоянных нагрузок

Вид нагрузки	Нормативная нагрузка, g^H кН/м ²	Коэффициент надежности по нагрузке, γ_f	Расчетная нагрузка, g^P кН/м ²
Постоянная:			
Гидроизоляционный ковер из трех слоев Техноколь Титан SOLO	0,17	1,3	0,221
Утеплитель толщиной 200 мм Техноколь Технолайт	0,07	1,2	0,084
Пароизоляция (один слой рубероида)	0,05	1,3	0,065
Стальной профилированный настил	0,1	1,05	0,105
Прогоны	0,1	1,05	0,105
ИТОГО постоянная:	0,49		0,58

Таблица 2

Снеговые нагрузки для всех снеговых районов

Снеговые районы (принимаются по карте 1 приложения Е)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$S_g, \text{кН/м}^2$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Коэффициент надежности по нагрузке, $\gamma_f = 1,4$								
$S_0, \text{кН/м}^2$	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6

Результаты подбора сечений элементов для каждой фермы и всех снеговых районов с расчетной стоимостью материалов представлен в таблице 3.

Таблица 3

Результаты подбора сечений элементов и стоимость материалов

Тип фермы	Тип элементы	Сечение элементов в зависимости от снегового района, $\angle L$							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Треугольная	Верхний пояс	100x6.5	110x8	125x8	125x10	140x10	160x10	160x11	160x12
	Нижний пояс	56x5	70x6	90x6	100x7	90x10	100x10	125x9	120x10
	Раскосы	90x6	90x6	100x6.5	100x6.5	110x7	110x7	110x8	120x8
	Стойки	40x3	45x3	45x4	45x5	56x5	63x5	70x5	75x5
	Цена за материалы, р	25811	33379	41159	47604	58881	68517	71651	86473
С параллельными поясами	Верхний пояс	90x6	100x6.5	110x7	120x8	125x8	125x10	140x9	140x10
	Нижний пояс	50x4	50x6	65x6	80x6	75x8	100x7	80x10	90x10
	Раскосы	90x6	90x6	90x7	100x6.5	100x7	110x7	110x8	120x8
	Стойки	50x3	50x4	56x4	60x4	63x4	60x5	63x5	70x4
	Опорные стойки	70x4	70x4	70x4	70x4	70x4	70x4	70x5	75x5
	Опорные раскосы	100x6.5	110x7	110x8	120x8	125x8	125x9	125x10	140x9
	Цена за материалы, р	27879	32675	38982	46172	48603	59233	63179	72376
Трапецевидная	Верхний пояс	80x6	90x7	100x7	110x8	120x8	125x8	120x10	140x9
	Нижний пояс	50x4	56x5	63x6	60x8	80x7	100x6.5	80x10	90x10
	Раскосы	90x6	90x6	90x6	90x6	90x6	90x7	100x6.5	100x6.5
	Стойки	45x3	50x3	50x4	56x4	60x4	63x4	63x5	70x4
	Опорные стойки	50x3	50x3	50x3	50x4	56x4	56x4	56x4	56x4
	Опорные раскосы	100x6.5	100x7	110x7	120x8	120x8	125x9	125x10	140x9
	Цена за материалы, р	25821	28802	30324	35795	43723	48014	52922	62023

Определение заводской стоимости ферм.

Уточним стоимость основных материалов [5] для каждой фермы по формуле:

$$C_{o.m} = 1,035 \cdot (C_{пр} \cdot k_{пр} + 1,5) \cdot k_{отх} \quad (1)$$

где: $C_{пр}$ – оптовая цена набора профилей проката в конструкции, руб;

$k_{пр}$ – коэффициент приплат к оптовым ценам, учитывающий приплаты за дополнительные испытания и мерность, для стали марки С245 равен 1,09;

$k_{отх}$ – коэффициент отходов, равный для конструкций их прокатных профилей 1,035.

Уточненная стоимость ферм рассчитана и приведена в таблице 4.

Таблица 4

Уточненная стоимость основных материалов ферм

Тип фермы	Вид цены	Стоимость материалов в зависимости от снегового района, р							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Треугольная	Цена за материалы, р	25811	33379	41159	47604	58881	68517	71651	86473
	Уточненная цена, р	30139	38976	48060	55586	68753	80005	83663	100971
С параллельными поясами	Цена за материалы, р	27879	32675	38982	46172	48603	59233	63179	72376
	Уточненная цена, р	32554	38154	45518	53913	56752	69164	73772	84510
Трапецевидная	Цена за материалы, р	25821	28802	30324	35795	43723	48014	52922	62023
	Уточненная цена, р	30151	33632	35409	41797	51054	56065	61796	72421

Далее необходимо учесть трудоемкость изготовления [5] ферм по формуле:

$$T = k_T \cdot \psi_T \cdot c \cdot \sqrt{G_0 \cdot n_0} \quad (2)$$

где: G_0 и n_0 – масса и число основных деталей конструкций;

k_T – коэффициент, учитывающий повышение трудоемкости при применении стали повышенной прочности, для стали марки С245 равен 1;

c – коэффициент, для ферм из уголков равен 1,5;

ψ_T – строительный коэффициент трудоемкости, по формуле:

$$\psi_T = 1 + (\beta/k_T) \cdot \sqrt{d \cdot (\psi - 1)} \quad (3)$$

где: d – коэффициент детальности, равный 2,6 для ферм из уголков;

β – коэффициент, отражающий различную трудоемкость вспомогательных и основных деталей, равен 1,49 для ферм из уголков;

k_T – коэффициент, учитывающий повышение удельной трудоемкости основных деталей, зависит от веса детали;

ψ – строительный коэффициент, зависит от нагрузки и шага фермы:

$$\psi = 1,13 + 64,5/(q \cdot L) + 17 \cdot 10^{-6} \cdot q \cdot L \quad (4)$$

где: q – нагрузка на 1 м длины фермы, кН;

L – пролет фермы, 24 м.

Таблица 5

Результаты расчета трудоемкости изготовления ферм

Тип фермы	Характеристики	Масса и трудоемкость изготовления ферм в зависимости от снегового района							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Треугольная	Масса фермы, кг	578	719	864	1021	1199	1324	1481	1596
	Трудоемкость, чел-ч	28,9	26,2	26,0	26,6	27,6	28,1	29,0	29,6
С параллельными поясами	Масса фермы, кг	631	729	859	994	1071	1252	1349	1474
	Трудоемкость, чел-ч	27,6	24,2	23,7	24,0	23,9	25,0	25,4	26,1
Трапецевидная	Масса фермы, кг	576	667	746	874	950	1052	1197	1268
	Трудоемкость, чел-ч	26,4	23,1	22,1	22,5	22,5	23,0	23,9	24,2

Заводская себестоимость ферм [5] по формуле:

$$C_{зав} = 1,15 \cdot (C_{0,м} + a \cdot T \cdot (1 + k_n)) \quad (5)$$

где: k_n – коэффициент, учитывающий накладные расходы, пропорциональные трудоемкости, равный 2,6;

a – среднечасовая заработная плата, принята 240 р/ч.

Таблица 6

Заводская стоимость изготовления ферм

Тип фермы	Заводская стоимость изготовления ферм в зависимости от снегового района, р							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Треугольная	63343	70870	81076	90304	106460	119925	125054	145501
С параллельными поясами	64903	67914	75930	85849	88998	104417	110064	123071
Трапецевидная	60917	61667	62710	70431	81058	87282	94828	107292

Таблица 7

Разница в заводской стоимости ферм относительно трапецевидной

Тип фермы	Разница в заводской стоимости относительно трапецевидной фермы в зависимости от снегового района, %							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Треугольная	4%	15%	29%	28%	31%	37%	32%	36%
С параллельными поясами	7%	10%	21%	22%	10%	20%	16%	15%

Вывод: Результат проведенного технико-экономического анализа конструкций треугольной, трапецевидной и фермы с параллельными поясами показал, что очертание и конструкция фермы значительно влияют на стоимость основных материалов и заводскую стоимость ферм. Разница (удорожание) в заводской стоимости при расчете для всех снеговых районов относительно наиболее эффективной из данных ферм (трапецевидная ферма наиболее близка к эпюре балочных моментов) составляет: для треугольной фермы до 37%, для фермы с параллельными поясами – до 22%.

***

1. Металлические конструкции; учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / [Ю.И.Кудишин, Е.И.Беленя, В.С.Игнатова и др.]; под ред. Ю.И.Кудишина. — 13-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2011. — 688 с.
2. Свод правил: СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. - Москва: Минстрой России, 2016 – 80 с.
3. Свод правил: СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. - Москва: Минрегион России, 2012 – 172 с.
4. ГОСТ 8509-93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные. М.: Стандартинформ, 2012. – 16 с.
5. Лихтарников, Я. М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций / Я. М. Лихтарников. — Москва : Стройиздат, 1979. — 319 с.
6. Оптовые цены на металлопрокат [Электронный ресурс] / БЕТАЛЛ — Режим доступа: <http://betall.ru/ugolok-metallicheskiy-stalnoj/ravnopolochnyy> (дата обращения: 26.03. 2020).