



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 624.014

Сравнение технико-экономических показателей поперечных сечений стержней металлических стропильных ферм

А. О. Запросян, Лю Сюй

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Аннотация. Металлические стропильные фермы часто применяются в строительстве для покрытий зданий различного назначения. В качестве стержней фермы могут использоваться разнообразного прокатные профили. С целью выявления наиболее экономичного типа профиля выполнены расчеты по подбору сечений элементов фермы из уголков, широкополочных тавров, квадратных и круглых труб. Для запроектированных сечений определены технико-экономические показатели — стоимость материалов, изготовления, фермы. На основе анализа этих показателей выбран наиболее экономичный тип сечения — круглая труба. Применение этих труб позволит существенно снизить стоимость таких ферм при их массовом изготовлении.

Ключевые слова: металлическая стропильная ферма, тип поперечного сечения стержня, технико-экономические показатели

Technical and Economic Comparison of Variants of Cross-Sections of Rods of Metal Trusses

Avedik O. Zaproshyan, Lyu Syui

Don State Technical University, (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Abstract. Metal trusses are often used as coverings of buildings for various purposes. Various rolling sections can be used as truss rods. In order to identify the most economical type of section, calculations were performed for the selection of cross sections of truss elements from corners, wide-brimmed brands, square and round pipes. For the projected sections, technical and economic indicators were found — the cost of materials, manufacture, trusses. Based on the analysis of these indicators, the most economical type of cross-section is selected — a round pipe. This approach makes it possible to significantly reduce the cost of such trusses during their mass production.

Keywords: metal truss, type of cross-section of the rod, technical and economic indicators

Введение. Металлическая стропильная ферма является одним из самых распространенных видов конструкций, используемых в качестве покрытий промышленных, спортивных, торговых и других зданий. Применение таких стержневых конструкций при пролетах более 15 метров выгоднее, по сравнению со сплошностенчатыми балочными конструкциями. Неслучайно изучению стропильных ферм посвящено большое количество исследований. Так, Е.Е. Устименко и К.А. Милосердов проанализировали возможные варианты поперечных сечений элементов фермы [1, 2]. А.С. Абаев, А.О. Запросян, Д.А. Леонова, Р.А. Шкрылев обосновали экономическую целесообразность применения бистальных ферм, провели исследования для определения оптимальной высоты фермы, выяснили возможности унификации элементов стропильных ферм [3–6]. В представленной работе различные варианты прокатных профилей, используемых в качестве стержней ферм, анализируются по стоимости. Целью данной статьи является сравнение поперечных сечений стержней металлических стропильных ферм по их технико-экономическим показателям.

Основная часть. Практика применения стропильных ферм показывает, что чаще всего в реальном проектировании применяются следующие четыре варианта поперечных сечений элементов ферм:

1. Пояса и решетка фермы из равнополочных уголков.
2. Пояса выполнены из широкополочных тавров, элементы решетки — из равнополочных уголков.
3. Пояса и решетка выполнены из гнуто-сварных квадратных профилей.
4. Пояса и решетка выполнены из электросварных круглых труб.

Каждый из вариантов сечений имеет свои достоинства и недостатки. К достоинствам первого варианта необходимо отнести подробный сортамент уголковой стали, что позволяет проектировать стропильные фермы

без излишних запасов по прочности и устойчивости. Недостатком является большое количество основных деталей (стержней фермы) и вспомогательных элементов (фасонки в узлах, соединительные планки между уголками). Это существенно повышает трудоемкость и стоимость изготовления ферм. Во втором варианте за счет использования широкополочных тавров в качестве поясов снижается количество основных и вспомогательных деталей. Однако стоимость широкополочных двутавров в среднем на 10 % выше, чем уголков. К тому же роспуск широкополочных двутавров по длине на тавры увеличивает стоимость еще на 10 %. Это объясняется тем, что перед роспуском для снятия внутренних остаточных напряжений двутавры прогреваются и подвергаются вибронгрузке на вибростенде. Без этих операций после роспуска двутавра из-за влияния остаточных напряжений возможно искривление стенки. Основными достоинствами третьего и четвертого вариантов являются меньшее количество основных деталей и полное отсутствие соединительных планок и фасонки. Крепление элементов решетки к поясам впритык позволяет полностью автоматизировать процесс изготовления таких ферм, что существенно снижает трудоемкость и стоимость их изготовления. К тому же замкнутые сечения, как более развитые, обладают большей устойчивостью, по сравнению с уголками. Это позволяет в расчетах получить более экономичные сечения для сжатых стальных элементов фермы. Основным недостатком таких профилей является необходимость расцентровки узлов, что связано с развитым поперечным сечением замкнутых профилей. Такая расцентровка приводит к появлению местного крутящего момента и дополнительных напряжений от изгиба. Также недостатком является сложность компоновки узлов нижнего пояса, когда нижний конец стойки необходимо крепить непосредственно к раскосам.

С целью выявления наиболее экономичного варианта были выполнены расчеты по подбору сечений элементов фермы. При этом рассматривалась типовая стропильная ферма пролетом 24 метра, идущая с шагом 12 метров, тип покрытия — легкий, с решетчатыми покрытиями. Расчеты выполнялись для первых четырех снеговых районов.

В соответствии с СП 16.13330.2017 «Стропильные конструкции» и СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» были подобраны сечения элементов ферм по всем четырем вариантам [7, 8]. Далее при подобранных сечениях была определена стоимость ферм [9]. Стоимость фермы $C_{фер.}$ складывается из стоимостей материалов ($C_{мат.}$), изготовления ($C_{изг.}$), транспортировки ($C_{тр.}$), монтажа ($C_{монт.}$).

$$C_{фер.} = C_{мат.} + C_{изг.} + C_{тр.} + C_{монт.} \quad (1)$$

Последние два слагаемых в этой формуле значительно меньше первых двух, и поэтому в дальнейших расчетах будем ими пренебрегать. Стоимость материалов ($C_{мат.}$) зависит от ряда конструктивных коэффициентов, массы основных деталей (G_0) и цены на металлопрокат. Последние взяты в компании «ЮгСтройКомплект» и составляют в среднем на 25.03.2023 68 тыс. р/т для угловой стали, 75 тыс. р/т — для широкополочных двутавров, 65 тыс. р/т — для гнуто-сварных квадратных и электросварных круглых труб.

Стоимость изготовления ($C_{изг.}$) зависит от среднечасовой заработной платы и трудоемкости изготовления ($T_{изг.}$).

Трудоемкость изготовления, в свою очередь, зависит от ряда конструктивных коэффициентов, массы (G_0) и количества (n) основных деталей. Количество основных деталей (n) для первого варианта составляет 32 шт., для второго варианта — 28 шт., для третьего и четвертого вариантов — 15 шт.

Все результаты вычислений приведены в таблице 1. На рис. 1–3 показаны графики изменения $C_{мат.}$, $C_{изг.}$, $C_{фер.}$ в зависимости от номера снегового района.

Таблица 1

Сравнение технико-экономических показателей

№ снег. района	№ варианта	Технико-экономические показатели					
		G_0 , т	n , шт.	$T_{изг.}$, чел/час	$C_{мат.}$, тыс. р.	$C_{изг.}$, тыс. р.	$C_{фер.}$, тыс. р.
1	1	1,594	32	23,6	158,5	8,5	167,0
	2	1,579	28	21,9	115,1	7,9	123,0
	3	1,187	15	19,7	100,7	7,1	107,8
	4	1,126	15	16,9	95,5	6,1	101,6
2	1	1,884	32	25,6	183,4	9,2	192,6
	2	1,873	28	23,9	134,5	8,6	143,1
	3	1,338	15	20,8	113,5	7,5	121,0
	4	1,320	15	18,3	112,0	6,6	118,6
3	1	2,156	32	27,5	214,4	9,9	224,3
	2	2,113	28	25,6	152,5	9,2	161,7
	3	1,505	15	22,2	127,7	8,0	135,7

№ снег. района	№ варианта	Технико-экономические показатели					
		G _о , т	п, шт.	T _{изг.} , чел/час	C _{мат.} , тыс. р.	C _{изг.} , тыс. р.	C _{фер.} , тыс. р.
	4	1,489	15	19,4	126,3	7,0	133,3
4	1	2,404	32	28,9	239,0	10,4	249,0
	2	2,317	28	26,7	167,7	9,6	177,3
	3	1,740	15	23,9	147,6	8,6	156,2
	4	1,686	15	20,6	143,1	7,4	150,5

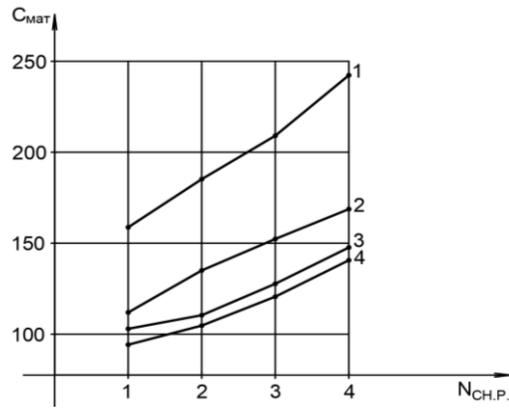


Рис. 1. График изменения C_{мат.} в зависимости от номера снегового района

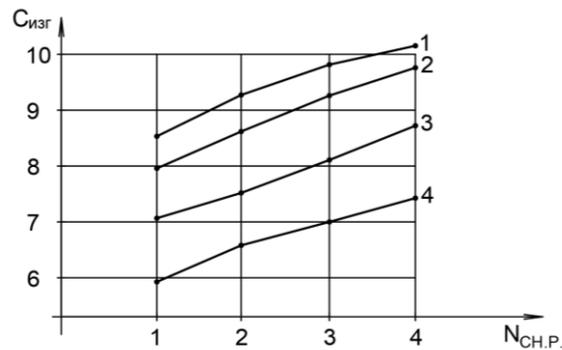


Рис. 2. График изменения C_{изг.} в зависимости от номера снегового района

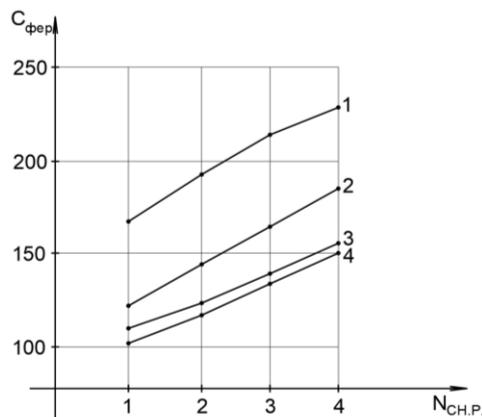


Рис. 3. График изменения C_{фер.} в зависимости от номера снегового района

Заключение. Анализ результатов вычислений позволяет сделать вывод о том, что применение ферм с элементами из гнутосварных квадратных и электросварных круглых труб с среднем на 50–60 % выгоднее, чем ферм с элементами из парных уголков, и на 20 % выгоднее, чем ферм с поясами из широкополочных тавров. И хотя фермы с элементами из круглых труб на 3–5 % дешевле, чем фермы с элементами из квадратных профилей, предпочтение следует отдать последним. Это объясняется тем, что в случае квадратных профилей технологически проще организовать стык элементов решетки в узлах.

Также интересно отметить, что в ценах на металлопрокат 1991 года стоимость материалов составляла в среднем 80 % от стоимости фермы, а стоимость изготовления — 20 %. В настоящее время при непропорциональном росте металлопроката (увеличение в 600–1000 раз) и зарплаты (увеличение в 100–200 раз) стоимость материалов составляет уже 93–95 % от стоимости фермы, а стоимость изготовления — лишь 5–7 %.

Библиографический список

1. Устименко Е.Е., Скачков С.В. Экспериментальное исследование рамно-стержневых конструкций с элементами из тонкостенных стальных профилей. *Инженерный вестник Дона*. 2019;5(56):53.
2. Милосердов К.А., Скачков С.В. Конструктивные особенности узла трехгранных ферм из тонкостенных стальных профилей. *Студенческий вестник*. 2019;41–4(91):54–56.
3. Запросян А.О. Техничко-экономическое обоснование применения бистальных стропильных ферм. В: Матлы науч.-практ. конф. «Строительство и архитектура-2017». Ростов-на-Дону; 2017. С. 138–140.
4. Абаев А.С. Техничко-экономическое сравнение вариантов моностальной и бистальной стропильных ферм. *Молодой исследователь Дона*. 2018;2(11):2–4.
5. Запросян А.О., Глушкова И.В. Определение оптимальной высоты стропильной фермы. *Студенческий вестник*. 2019;41–4(91):52–53.
6. Запросян А.О., Леонова Д.А., Шкрылев Р.А. Техничко-экономическое обоснование унификации элементов металлических стропильных ферм. *Инженерный вестник Дона*. 2021;8(80):425–431.
7. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Москва; 2017. 151 с.
8. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Москва; 2016. 125 с.
9. Лихтарников Я.М. *Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций*. Москва: Стройиздат; 1979. 319 с.

Об авторах:

Запросян Аведик Ованесович, доцент кафедры «Металлические, деревянные и пластмассовые конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, zapao@rambler.ru

Лю Суй, магистрант кафедры «Металлические, деревянные и пластмассовые конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), 1605043349@qq.com

About the Authors:

Avedik O. Zaprosyan, associate professor of the Metal, Wood and Plastic Structures Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sci. (Eng.), associate professor, zapao@rambler.ru

Lyu Syui, Master's degree student of the Metal, Wood and Plastic Structures Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), 1605043349@qq.com