

Технико-экономическая оценка целесообразности применения ферм типа «Молодечно» в покрытиях промышленных зданий

Г.Б. Вержбовский, А.О. Запросян, С.В. Скуратов, Я.А. Плеханов

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

Аннотация: Стальные стропильные фермы являются основным видом несущих конструкций, используемых в покрытиях промышленных зданий. Среди них значительное распространение получили фермы типа «Молодечно», в которых в качестве стержней используются замкнутые гнутосварные профили квадратного и прямоугольного поперечных сечений. Применение указанного вида проката дает возможность создавать конструкции без фасонок и соединительных планок, с максимальной степенью автоматизации процессов, что существенно сокращает трудоемкость и снижает стоимость их изготовления. Другой особенностью рассматриваемых покрытий является их беспрогонное решение. Фермы располагаются с шагом 4 метра, опираясь на подстропильные конструкции. Однако в такой ситуации нагрузки на ферму и усилия в элементах невелики, в связи с чем, а также с учетом ограниченности сортамента гнутосварных профилей, вероятны недонапряжения элементов ферм и перерасход металла. Рассмотрены три варианта покрытий с различными шагами стропильных ферм, а также определен расход металла на квадратный метр покрытия. Доказано, что с увеличением шага стропильных ферм металлоемкость покрытий уменьшается.

Ключевые слова: «Молодечно», стропильная ферма, подстропильная ферма, сплошной прогон, решетчатый прогон, шаг ферм, расход металла.

Одним из широко применяющихся еще со времен СССР видов несущих конструкций покрытий промышленных зданий являются стропильные фермы типа «Молодечно» [1, 2]. Свое название они получили по имени белорусского города Молодечно, где впервые в нашей стране на специализированном заводе началось изготовление таких ферм. Главной особенностью указанных конструкций является применение в качестве стержней стальных гнутосварных профилей квадратного и прямоугольного сечений. Отсутствие узловых фасонок и соединительных планок элементов существенно сокращает трудоемкость и стоимость изготовления ферм «Молодечно» по сравнению с аналогичными конструкциями из прокатных уголков. Кроме того, применение гнутосварных профилей позволяет полностью автоматизировать процесс изготовления конструкций.

Решетка фермы состоит только из раскосов. Отсутствие стоек упростило конструирование узлов нижнего пояса, где обычно сходятся три стержня – два раскоса и стойка.

Еще одной особенностью покрытий со стропильными конструкциями типа «Молодечно» является их беспрогонное решение, так как фермы располагаются с шагом 4 м, а стальной профилированный настил крепится непосредственно к их верхним поясам, обеспечивая продольную жесткость шатра покрытия. Однако при указанном шаге необходимо устройство подстропильных ферм по средним и подстропильных балок по крайним осям колонн, располагающихся с шагом 12 м. В таком случае монтаж несущих конструкций покрытия достаточно часто ведется блоками на нулевой отметке, что приводит к сокращению сроков монтажа.

К сожалению, помимо достоинств система «Молодечно» имеет и ряд недостатков. Очевидно, что при малых величинах их шагов, нагрузка на фермы и усилия в стержнях последних невелики. Учитывая тот факт, что сечения гнутосварных профилей в типовой серии начинаются с размера 80x80x4, вполне вероятно недонапряжение в элементах фермы и, следовательно, перерасход металла. К тому же из условий сварки в узлах гнутосварные профили с толщиной стенки 3 мм неприемлемы, т. к. минимальный катет шва при автоматическом режиме, согласно СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» составляет 4 мм и возможен прожиг стенки. Конструктивное увеличение толщины стенки также приводит к перерасходу металла. К этому же ведут ограниченность сортамента замкнутых гнутосварных профилей по сравнению с уголковой сталью, унификация элементов ферм, а также особенности производства замкнутых гнутосварных профилей [3 - 5].

Следует отметить, что в ценах 1991 года согласно [6, 7] стоимость металла составляла в среднем 78-80 % от стоимости всей фермы, а стоимость

изготовления – 18-20 %. При этом затраты на транспортировку и монтаж были невелики, составляя менее 1 % каждая. Однако, в настоящее время произошел непропорциональный рост цен на металлопрокат по сравнению с размером оплаты труда. Стоимость 1 т металлопроката увеличилась в 600-800 раз, а зарплата – лишь в 100-200 раз. Согласно [5, 8] эти изменения привели к тому, что сегодня стоимость металлопроката составляет уже 93-95 % от стоимости фермы, в то время как затраты на изготовление составляют лишь 5-7 %. Это особенно существенно в случае применения бистальных ферм [9], когда пояса изготавливаются из более прочных, а значит и более дорогих марок стали. Стоимости же транспортировки и монтажа практически не изменились. В связи со всем вышесказанным в реальных условиях существенное недонапряжение в стержнях фермы является недопустимым, а на первое место выходит фактор экономии металла.

С целью сравнения расхода металла были рассмотрены три варианта конструкций покрытия для отсека размерами в плане 24 (пролет стропильной фермы) на 12 (продольный шаг колонн) метров. Первый вариант – типовой – является беспрогонным и включает в себя два типа ферм – стропильные $\Phi 4$, расположенные с шагом 4м, и подстропильные П $\Phi 4$ (рис.1).

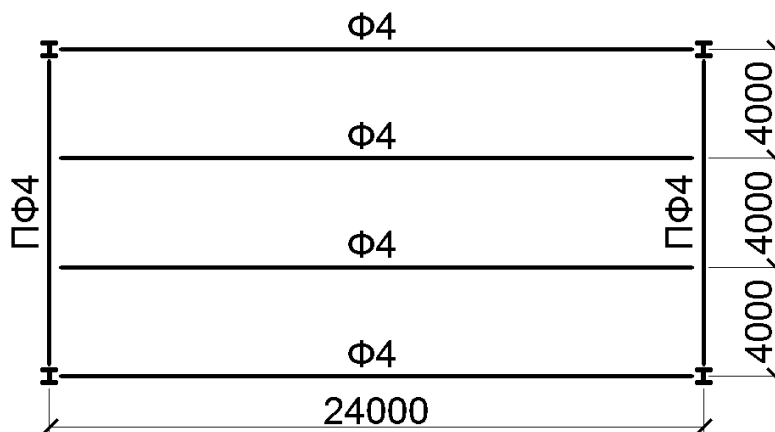


Рис. 1. – Первый вариант конструкций покрытия

На рис. 2 показано покрытие, состоящее из стропильных и подстропильных ферм $\Phi 6$ и П $\Phi 6$ соответственно, а также сплошных прогонов ПС, по которым укладывается профилированный настил.

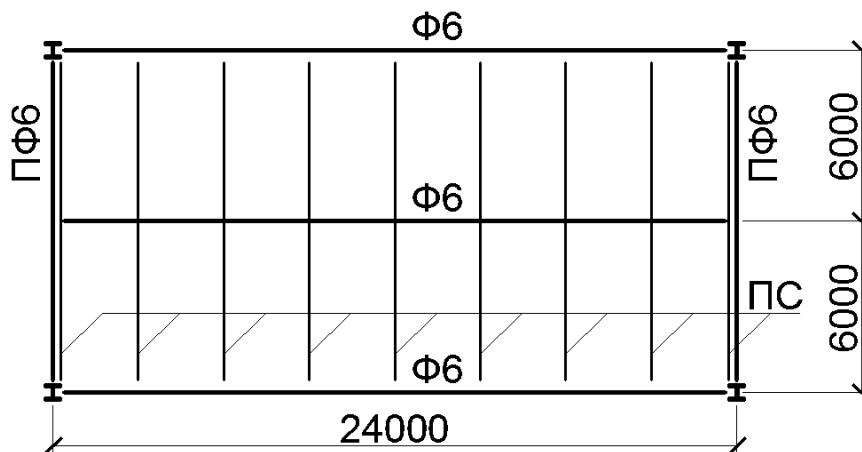


Рис. 2. – Второй вариант конструкций покрытия

В третьем варианте, представленном на рис.3, в состав конструкций покрытия входят стропильные фермы $\Phi 12$, решетчатые прогоны ПР и профилированный настил.

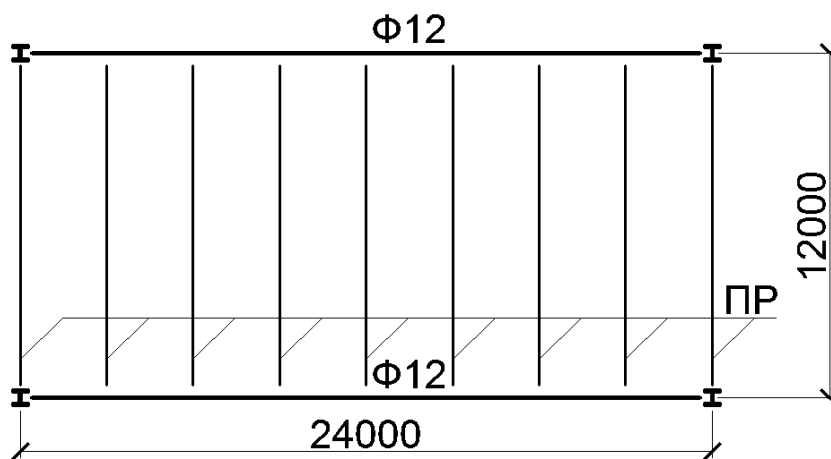


Рис. 3. – Третий вариант конструкций покрытия

Для перечисленных вариантов был выполнен подбор сечений элементов ферм по методике, аналогичной изложенной в [10]. При этом

помимо постоянной учитывалась снеговая нагрузка для второго снегового района по Своду Правил «Нагрузки и воздействия». Подбор сечений несущих конструкций покрытия осуществлялся в соответствии с требованиями СП 16.13330.2017. На рисунках 4-6 приведены обозначения стержней конструкций, сечение которых подбиралось.

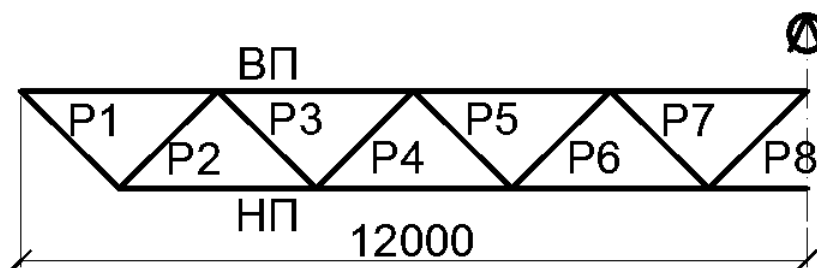


Рис. 4. – Обозначение стержней ферм Ф4, Ф6, Ф12

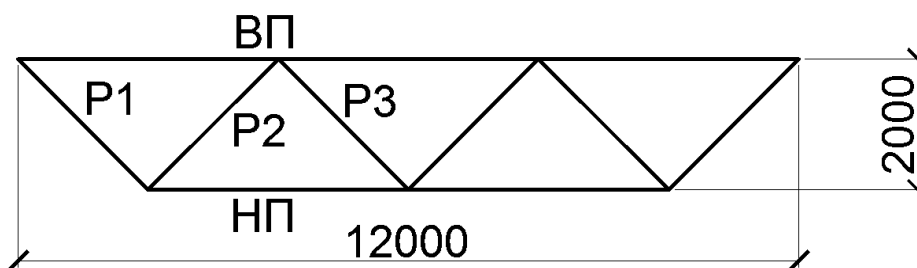


Рис. 5. – Обозначение стержней подстропильной фермы ПФ4

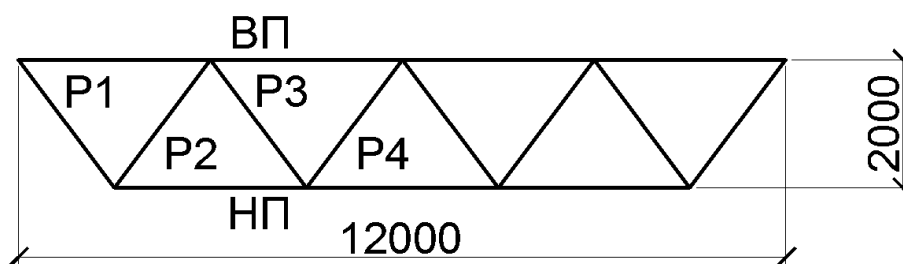


Рис. 6. – Обозначение стержней подстропильной фермы ПФ6

В таблицах 1 и 2 приведены подобранные для элементов ферм профили, а также указаны проценты использования материала как для отдельных элементов, так и для всей конструкции – коэффициенты α и $\alpha_{\text{сред}}$ соответственно.

Также был определен расход металла на 1 м² всех видов покрытий. При этом в двух вариантах покрытия с прогонами сечения последних принимались по типовым сериям. Результаты вычислений приведены в таблице 3.

Таблица № 1

Результаты расчета стропильных ферм

Стержни	Шаг ферм, м					
	4		6		12	
	профиль	α , %	профиль	α , %	профиль	α , %
ВП	160x120x5	93	120x6	97	180x8	88
НП	100x4	92	120x5	99	180x7	96
P1	80x4	45	80x4	69	80x6	95
P2	80x4	87	80x4	87	140x4	83
P3	80x4	32	80x4	49	80x4	99
P4	80x4	41	80x4	62	100x4	89
P5	80x4	19	80x4	29	80x4	60
P6	80x4	24	80x4	37	80x4	75
P7	80x4	7	80x4	10	80x4	20
P8	80x4	8	80x4	13	80x4	25
$\alpha_{\text{сред}}$, %		40		51		71

Таблица № 2

Результаты расчета подстропильных ферм

Стержни	Подстропильные фермы			
	ПФ4		ПФ6	
	профиль	α , %	профиль	α , %
ВП	120x6	88	120x4	98
НП	80x6	99	80x4	83
P1	80x5	82	80x4	69
P2	80x6	95	80x4	87
P3	80x4	0	80x4	69
P4	-	-	80x4	87
$\alpha_{\text{сред}}$, %		68		53

Как и предполагалось, во всех трех вариантах покрытий имеет место недонапряжение в элементах ферм. Средняя его величина оказалась наибольшей при шаге ферм 4 м – 60 %, а наименьшей – при шаге 12 м – 29 %, что, однако, также является достаточно большой величиной. Суммарный расход металла на покрытие при шаге стропильных ферм 12 м оказался в 1,71 раза меньше аналогичного показателя для шага ферм 4 м и в 1,25 меньше, чем при шаге стропильных конструкций 6 м.

Таблица № 3

Расход металла по вариантам покрытий

Конструкции	Расход металла, кг/м ²		
	Шаг ферм, м		
	4	6	12
Стропильная ферма	11,90	8,41	7,95
Подстропильная ферма	1,80	1,57	-
Прогоны	-	0,05	0,07
Итого	13,70	10,03	8,02

Проведенные расчеты подтвердили предположение об экономической нецелесообразности применения в современных условиях покрытий промышленных зданий в случае установки стропильных ферм типа «Молодечно» с шагом 4 м.

Литература

1. Кузнецов В.В. Стальные конструкции зданий и сооружений. (Справочник проектировщика). М.: изд-во АСВ, 1998. 512 с.
2. Горев В.В., Уваров Б.Ю., Филиппов В.В. и др. Металлические конструкции. В 3 т. Т.1. Элементы стальных конструкций. М.: Высшая школа, 2004. 527 с.

3. Горицкий В.М., Шнейдеров Г.Р., Горицкий О.В. Качество гнутосварных профилей квадратного и прямоугольного сечения // Промышленное и гражданское строительство, 2020, № 10. С. 17-22.

4. Hickman A.R. Carriers cut back coverage for construction defects / American Agent & Broker. 2003. V. 75. № 7. p. 24.

5. Запросян А.О., Леонова Д.А., Шкрылев Р.А. Техничко-экономическое обоснование унификации элементов металлических стропильных ферм // Инженерный вестник Дона, 2021, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7148.

6. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. М.: Стройиздат, 1979. 313 с.

7. Лихтарников Я.М. Металлические конструкции. Методы технико-экономического анализа при проектировании. М.: Стройиздат, 1968. 264 с.

8. Запросян А.О. Федчишена А.А. Техничко-экономическое обоснование применения подстропильных ферм // Молодой исследователь Дона, 2022, №5(38). С. 27-34.

9. Величко В.Ю. Особенности расчета криволинейных стропильных ферм и сравнение марок стали ВСТ3ПС4 и 16Г2АФ. // Инженерный вестник Дона, 2018, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4911.

10. DeCoursey W.J. Statistics and Probability for Engineering Applications With Microsoft Excel. Elsevier Science (USA), 2003. 400 p.

References

1. Kuznecov V.V. Stal'nye konstrukcii zdaniy i sooruzhenij. (Spravochnik proektirovshhika). [Steel structures of buildings and structures. (Designers guide)]. М.: izd-vo ASV, 1998. 512 p.



2. Gorev V.V., Uvarov B.Ju., Filippov V.V. i dr. Metallicheskie konstrukcii. V 3 t. T.1. Jelementy stal'nyh konstrukcij. [Metal structures]. M.: Vysshaja shkola, 2004. 527 p.

3. Gorickij V.M., SHnejderov G.R., Gorickij O.V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2020, № 10. pp. 17-22.

4. Hickman A.R. Agent & Broker. 2003. V. 75. № 7. p. 24.

5. Zaproсяn A.O., Leonova D.A., Shkrylev R.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7148.

6. Lihtarnikov Ja.M. Variantnoe proektirovanie i optimizacija stal'nyh konstrukcij. [Variant design and optimization of steel structures]. M.: Strojizdat, 1979. 313 p.

7. Lihtarnikov Ja.M. Metallicheskie konstrukcii. Metody tehniko-jekonomicheskogo analiza pri proektirovanii. [Metal structures. Methods of technical and economic analysis in the design]. M.: Strojizdat, 1968. 264 p.

8. Zaprosjan A.O. Fedchishena A.A. Molodoj issledovatel' Dona, 2022, №5 (38). pp. 27-34.

9. Velichko V.Ju. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018, №2, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4911.

10. DeCoursey W.J. Statistics and Probability for Engineering Applications With Microsoft Excel. Elsevier Science (USA), 2003. 400 p.

Дата поступления: 7.01.2024

Дата публикации: 19.02.2024