

Технико-экономическое обоснование унификации элементов металлических стропильных ферм

А.О. Запросян, Д.А. Леонова, Р.А. Шкрылев

Донской государственной технической университет

Аннотация: Рассмотрены вопросы унификации металлических стропильных ферм, приведены результаты сравнения технико-экономических показателей, определена стоимость унифицированных и неунифицированных ферм.

Ключевые слова: стропильная ферма, унификация, серийность, стоимость, монтаж.

Металлические стропильные фермы являются решетчатыми конструкциями, состоящими из отдельных стержней. Проектирование таких ферм заключается в определении усилий в стержнях, с последующим подбором их сечений [1, 2].

В такой ситуации мы имеем дело с большим количеством деталей и типоразмеров сечений. Все это приводит к увеличению трудоемкости и стоимости изготовления ферм. С целью снижения этих показателей после подбора сечений проводят унификацию элементов фермы.

С этой целью весь верхний и нижний пояса выполняются, как правило, одного большего сечения, что уменьшает количество основных деталей. Для удобства изготовления ферм (уменьшения количества заказываемых заводом типоразмеров металлопроката) все остальные сечения решетки сводятся к 2-3 размерам [3, 4]. Естественно, подобная унификация приводит к увеличению массы всей ферм и стоимости всего используемого металлопроката. В такой ситуации целесообразным представляется технико-экономическое обоснование унификации элементов фермы с определением основных стоимостных показателей.

В соответствии с [5, 6] стоимость фермы $C_{\text{фер}}$ (без учета транспортных расходов) складывается из стоимости металла $C_{\text{мет}}$, стоимости изготовления $C_{\text{изг}}$ и стоимости погрузочных работ $C_{\text{п.р.}}$.

$$C_{\text{фер.}} = C_{\text{мет.}} + C_{\text{изг.}} + C_{\text{п.р.}}$$

Без учета постоянных стоимостных показателей и конструктивных коэффициентов стоимости металла $C_{\text{мет.}}$ И погрузочных работ $C_{\text{п.р.}}$ зависят от массы фермы G .

Стоимость изготовления $C_{\text{изг.}}$ Зависит от массы основных деталей G_0 и их количества n_0 .

С целью изучения этого вопроса были определены усилия, в соответствии с СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» и подобраны сечения элементов стропильной фермы пролетом 24 м с параллельными поясами [7, 8]. Стержни фермы запроектированы из парных уголков, при этом учитывалась снеговая нагрузка от I до VIII снегового района, согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

Рассмотрим пример унификации элементов стропильной фермы, сечения которых определены для одного из снеговых районов.

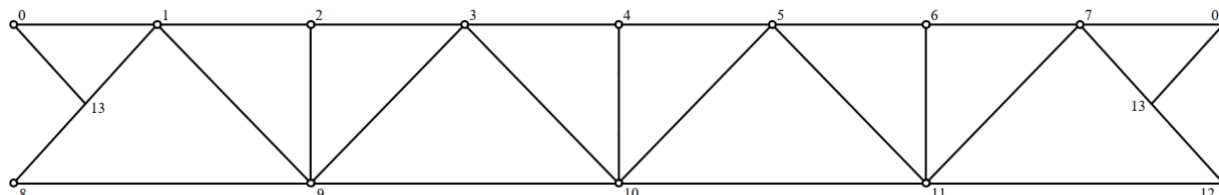


Рис. 1. – Схема фермы

Таблица № 1

Сечения стержней неунифицированной фермы

№ стержней	Сечение	Масса одного уголка, кг/м	№ стержней	Сечения	Масса одного уголка, кг/м
0-1, 7-0	∟ Г 50x5	3,77	1-9, 7-11	∟ Г 63x5	4,81
1-3, 5-7	∟ Г 110x8	13,50	3-9, 5-11	∟ Г 90x7	9,64
3-4, 4-5	∟ Г 125x8	15,46	3-10, 5-10	∟ Г 50x5	3,77
8-9, 11-12	∟ Г 50x5	3,77	2-9, 4-10	∟ Г 50x5	3,77
9-10, 10-11	∟ Г 90x6	8,33	6-11	∟ Г 63x5	4,81
1-8, 7-12	∟ Г 100x7	10,79	0-13	∟ Г 50x5	3,77

При этом получаем число основных деталей $n_0 = 44$, массу основных деталей $G_0 = 1450$ кг.

Таблица № 2

Сечения стержней унифицированной фермы

№ стержней	Сечение	Масса одного уголка, кг/м	№ стержней	Сечения	Масса одного уголка, кг/м
0-4, 4-0	Г 125x8	15,46	3-9, 5-11	Г 100x7	10,79
8-10, 10-12	Г 90x6	8,33	3-10, 5-10	Г 50x5	3,77
1-8, 7-12	Г 100x7	10,79	2-9, 4-10, 6-11	Г 63x5	4,81
1-9, 7-11	Г 63x5	4,81	0-13	Г 50x5	3,77

При этом получаем количество основных деталей меньше – $n_0 = 32$, а массу основных деталей больше – $G_0 = 1740$ кг.

Результаты технико-экономических расчетов приведены в табл. 3. В табл. 4 приведены результаты сравнения технико-экономических показателей для неунифицированных и унифицированных ферм.

Таблица № 3

Результаты технико-экономических расчетов

№ снет. р-на	Тип фермы															
	Неунифицированная ферма							Унифицированная ферма								
	Показатели															
	С _{мет.}		С _{изг.}		С _{п.р.}		С _{фер.}		С _{мет.}		С _{изг.}		С _{п.р.}		С _{фер.}	
руб.	%	руб.	%	руб.	%	руб.	%	руб.	%	руб.	%	руб.	%	руб.	%	
I	79900	89,6	8740	9,8	531	0,6	89170	100	95350	91,6	8150	7,8	634	0,6	104130	100
II	84160	89,8	8950	9,6	560	0,6	93670	100	102800	91,9	8440	7,5	680	0,6	111900	100
III	96580	90,5	9500	8,9	640	0,6	106720	100	115860	92,3	8860	7,1	770	0,6	125490	100
IV	104570	90,8	9860	8,6	690	0,6	115120	100	131840	92,7	9470	6,7	880	0,6	142190	100
V	116550	91,2	10440	8,2	770	0,6	127760	100	14980	93,1	10080	6,3	1000	0,6	160930	100
VI	122520	91,4	10690	8,0	810	0,6	134020	100	158480	93,3	10340	6,1	1050	0,6	169870	100
VII	131200	91,7	11050	7,7	870	0,6	143120	100	166470	93,4	10620	6,0	1110	0,6	178200	100
VIII	141860	91,9	11480	7,5	950	0,6	154290	100	185590	93,7	11230	5,7	1230	0,6	198050	100

Таблица № 4

Результаты сравнения технико-экономических показателей

№ снет. р-на	Технико-экономические показатели											
	С _{мет.} , руб.		Δ		С _{изг.} , руб.		Δ		С _{фер.} , руб.		Δ	
	Ферма		руб.	%	Ферма		руб.	%	Ферма		руб.	%
	неун.	униф.			неун.	униф.			неун.	униф.		
I	79900	95350	15450	19,3	8740	8170	570	7,1	89170	104130	14960	16,8
II	84160	102800	18640	22,1	8950	8440	510	5,7	93670	11100	18230	19,5
III	96580	115860	19280	20,0	9500	8860	60	6,8	106720	125490	18770	17,6
IV	104570	131840	27270	26,1	9860	9470	390	4,0	115120	142190	27070	23,5
V	116550	149850	33300	28,6	10440	10080	360	3,4	127760	160930	33170	26,0
VI	122520	158480	35960	29,3	10690	10340	350	3,0	134020	169870	35850	26,7
VII	31200	166470	35270	26,9	11050	10620	430	3,9	143120	178200	35080	24,5
VIII	141860	185590	43730	30,8	11480	11230	250	2,2	154290	198050	43760	28,4

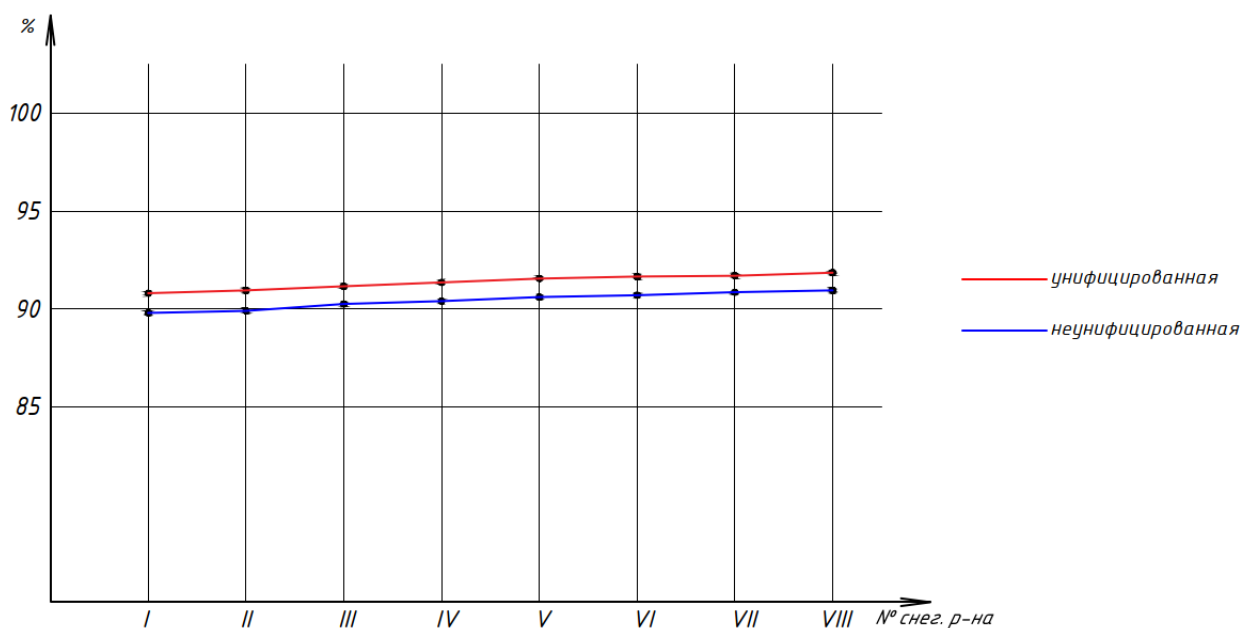


Рис. 2. – График изменения доли $C_{мет}$ в $C_{фер}$ с увеличением снеговой нагрузки

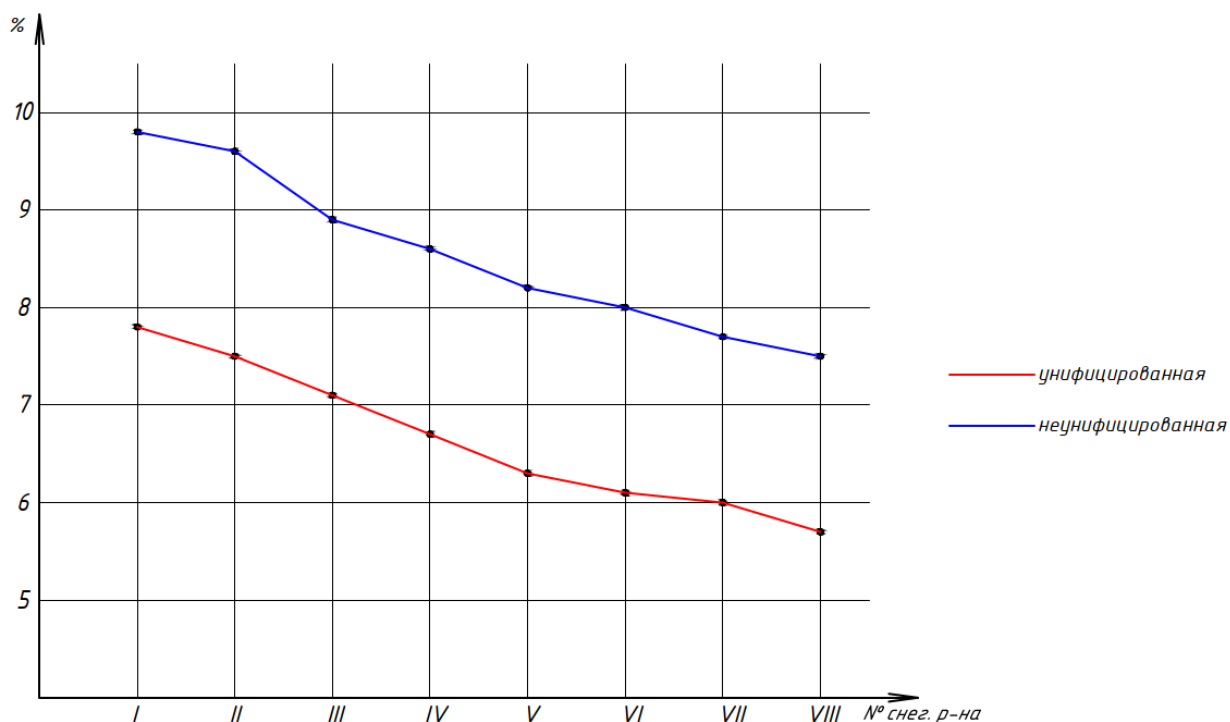


Рис. 3. – График изменения доли $C_{изг}$ в $C_{фер}$ с увеличением снеговой нагрузки

Анализ результатов вычислений позволяет сделать следующие выводы:

1. Стоимость металлопроката $C_{мет.}$ составляет основную долю в стоимости всей фермы $C_{фер.}$. Для неунифицированных ферм составляет 89,6÷91,9 %, а для унифицированных – 91,6÷93,7 %.
2. Стоимость изготовления $C_{изг.}$ составляет лишь 7,5÷9,8 % для неунифицированных ферм и 5,7÷7,8 % для унифицированных.
3. С увеличением снеговой нагрузки значение $C_{мет.}$ увеличивается (рис. 2), а значение $C_{изг.}$ уменьшается (рис. 3).
4. Стоимость погрузочных работ $C_{п.р.}$ невелика – менее 1 %. В дальнейших расчетах этой величиной можно пренебречь.
5. Применение унифицированных ферм приводит к увеличению стоимости металлопроката $C_{мет.}$ на величину 19,3÷30,8 %.
6. Снижение стоимости изготовления $C_{изг.}$ при этом составляет лишь 2,2÷7,1 %.
7. Применение унифицированных ферм приводит к увеличению стоимости $C_{фер.}$ на 16,8÷28,4 %.

Все это приводит к выводу об экономической нецелесообразности применения унифицированных стропильных ферм [9, 10].

Литература

1. Стальные конструкции зданий и сооружений. (Справочник проектировщика) / Под общ. ред. заслуж. Строителя РФ, В.В.Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П.Мельникова) – 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: Учебное пособие для строит. вузов – М.: Высш. шк., ред. 2004. – 527 с.

3. Hickman A.R. Carriers cut back coverage for construction defects / American Agent & Broker. 2003. V. 75. № 7. p. 24.
4. DeCoursey W.J. Statistics and Probability for Engineering Applications With Microsoft® Excel. – 2003 – 400 p. – Elsevier Science (USA).
5. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций – М.: Стройиздат, 1979 – 313 с.
6. Лихтарников Я.М. Металлические конструкции. Методы технико-экономического анализа при проектировании – М.: Стройиздат, 1968 – 264 с.
7. Мандриков А.П. Примеры расчета металлических конструкций: Учебное пособие для техникумов.– 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 431 с.
8. Кудишин Ю.И., Беленя Е.И., Игнатьева В.С. Металлические конструкции: Учебник для студ. высш. учеб. Заведений; Под общ. ред. Ю.И. Кудишина.– 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 688 с.
9. Решетников А.А., Корнет В.Ю., Леонова Д.А. Сравнительный анализ методик расчета тонкостенных стальных балок С-образного профиля по отечественным и зарубежным нормам // Инженерный вестник Дона, 2018, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4788.
10. Величко В.Ю. Особенности расчёта криволинейных стропильных ферм и сравнение марок стали ВСТЗПС4 И 16Г2АФ // Инженерный вестник Дона, 2018, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4911

References

1. Stal'nye konstrukcii zdaniy i sooruzhenij. (Spravochnik proektirovshhika) [Steel structures of buildings and structures. (Designer's Guide)]. Pod obshh. red. zasluzh. Stroitelja RF, V.V.Kuznecova (CNIiproektstal'konstrukcija im. N.P.Mel'nikova). Moskva, 1998, 512 p.
-

2. Gorev V.V., Uvarov B.Ju., Filippov V.V. i dr. Metallicheskie konstrukcii. [Metal structures]. V 3 t. T.1. Jelementy stal'nyh konstrukcij: Uchebnoe posobie dlja stroit. vuzov. Moskva, 2004, 527 p.
3. Hickman A.R. Carriers cut back coverage for construction defects American Agent & Broker. 2003. V. 75. № 7. p. 24.
4. DeCoursey W.J. Statistics and Probability for Engineering Applications With Microsoft® Excel. 2003, 400 p. Elsevier Science (USA).
5. Lihtarnikov Ja.M. Variantnoe proektirovanie i optimizacija stal'nyh konstrukcij. [Variant design and optimization of steel structures]. Moskva, 1979, 313 p.
6. Lihtarnikov Ja.M. Metallicheskie konstrukcii. Metody tehniko-ekonomicheskogo analiza pri proektirovanii. [Metal structures. Methods of technical and economic analysis in the design]. Moskva, 1968, 264 p.
7. Mandrikov A.P. Primery rascheta metallicheskih konstrukcij. [Examples of calculation of metal structures]. Uchebnoe posobie dlja tehnikumov. Moskva, 1991, 431 p.
8. Kudishin Ju.I., Belenja E.I., Ignat'eva V.S. i dr. Metallicheskie konstrukcii. [Metal structures]. Uchebnik dlja stud. vyssh. ucheb. Zavedenij [Pod obshh. red. Kudishina Ju.I.]. Moskva, 2006, 688 p.
9. Reshetnikov A.A., Kornet V.Ju., Leonova D.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4788.
10. Velichko V.Ju. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4911.