ОПТИМИЗАЦИЯ ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОЛУРАСКОСНЫМИ РЕШЕТКАМИ

© А. С. Марутян

филиал СКФУ, Пятигорск, Россия

Приведено новое техническое решение в виде дополнительных стержней I-образной, Y-образной, Ψ-образной формы в полураскосных решетках для стержневых (ферменных) конструкций. Показана эффективность их применения в фермах, у которых грузовыми являются не только верхние (сжатые) пояса, но также и нижние (растянутые). Повышена степень унификации ферменной конструкции из гнутосварных профилей (профильных труб) прямоугольного сечения за счет повторного использования в верхнем поясе расчетного сечения, принятого для нижнего пояса. При этом ресурсы несущей способности разнятся между ними в пределах 3-4-процентного порога, что обеспечивает необходимую и достаточную равнопрочность обоих поясов при их унификации. Соединительные узлы верхнего пояса с дополнительными полураскосами разных очертаний позволяют опереть на них определенное количество прогонов с уменьшенными размерами грузовых площадей. Увеличение общего количества прогонов приводит к их облегчению, что представляет собой весьма важный фактор для несущих конструкций, рассчитанных на особые нагрузки и воздействия, а также для объектов повышенной ответственности. Выявлена перспективность применения нового технического решения в составе несущих и связевых систем различных зданий и сооружений.

Ключевые слова: легкие металлические конструкции, замкнутые гнутосварные профили, стержневые системы, фермы, оптимизация, расход конструкционного материала.

Введение

Предлагаемое техническое решение относится к области строительства и может быть использовано в стержневых (ферменных) конструкциях покрытий и перекрытий, башен и мачт, мостов и эстакад, стадионов и спортивных сооружений, опор линий электропередач, кранов-перегрузателей, а также других несущих и связевых систем. Известны стержневые конструкции (фермы), поддерживающие прогоны кровельного ограждения или балки настила, в раскосных решетках которых раскосы (более длинные стержни) являются растянутыми, а стойки – сжатыми (рис. 1, а) [1, с. 420-421, рис. 7.6, г; 2, с. 264-268, рис. 9.7, г]. Использование этих решеток весьма рационально в фермах малой высоты или при передаче по их стойкам значительных усилий (в случаях больших узловых нагрузок). Недостаток такого технического решения заключается в протяженных панелях сжатых поясов, что сопровождается дополнительным расходом

конструкционного материала для обеспечения их устойчивости. Известны также раскосные решетки, включающие в свой состав кроме основных раскосов и стоек еще и дополнительные одиночные раскосы I-образной формы (рис. 1, б) или дополнительные парные раскосы V-образной формы (рис. 1, в) [3]. Верхние узловые соединения I-образных раскосов делят панели верхних поясов на две составные части, а такие же соединения V-образных раскосов – на три части. Нижние узловые соединения этих же раскосов совмещены с узловыми соединениями нижнего пояса и остальных стержней решетки, то есть основных раскосов и стоек. Такие решетки используют для внеузловых приложений к верхним поясам сосредоточенных нагрузок или при необходимости уменьшения расчетных длин сжатых поясов. Они более трудоемки, чем раскосные решетки без дополнительных стержней, однако в результате исключения работы сжатых поясов на изгиб и сокращения их расчетных длин

Рис. 1. Схемы решеток ферменных конструкций:

а – раскосной; *б* – раскосной с дополнительными одиночными раскосами (I-образными раскосами); *в* – раскосной с дополнительными парными раскосами (V-образными раскосами); *г* – раскосной с дополнительными Y-образными раскосами; *д* – раскосной с дополнительными Ψ-образными раскосами; *е* – полураскосной; *ж* – раскосной и треугольной с дополнительными Ψ-образными стойками

обеспечивают определенное снижение расхода конструкционного материала. Недостатком такого технического решения является протяженность сжатых дополнительных раскосов, а также сложность их узловых соединений с нижним поясом и остальными стержнями решетки (основными раскосами и стойками), что вызывает дополнительные трудозатраты и расход конструкционного материала.

Еще одно известное техническое решение (принятое в качестве аналога) можно представить раскосными решетками стержневых конструкций (в том числе и ферм) с дополнительными раскосами Y-образной (рис. 1, *г*) и Ψ-образной формы (рис. 1, *д*) [4]. Общим недостатком раскосных решеток, включая и аналог, является ограниченность их эффективности при работе конструкций на значительные по-

Рис. 2. Снимки полураскосных решеток в конструкциях арочного моста (а), подъемника небоскреба (б), морской платформы (в), велотрека в Крылатском (г)

перечные силы, а также в несущих и связевых системах с большими высотами (расстояниями между поясами), где более рациональна ферменная конструкция с решеткой из двух систем раскосов (полураскосов).

Наиболее близким техническим решением (принятым за прототип) к предлагаемой полураскосной решетке с дополнительными полураскосами I-образной, Y-образной, Ψ-образной формы является полураскосная решетка, состоящая из двух систем раскосов (основных полураскосов) и стоек, соединения которых дополнительно к узлам верхнего и нижнего поясов образуют промежуточный ряд узлов (рис. 1, е) [1, с. 420, рис. 7.6, к; 2, с. 264, рис. 9.7, и]. Недостатком принятого прототипа является протяженность панелей сжатых поясов, что сопровождается дополнительным расходом конструкционного материала для обеспечения их устойчивости. Тем не менее, полураскосные решетки входят в число наиболее жестких стержневых систем, весьма востребованных в мостовых, крановых, высотных, башенных, спортивных и других объектах (рис. 2) [5-10].

Завершая вводную часть, остается добавить, что при оптимизации ферменных конструкций с полураскосными решетками и дополнительными стержнями I-образной, Y-образной, Ψ-образной формы учтен опыт проработок дополнительных стоек таких же очертаний в треугольных решетках, реализованный на практике (рис. 1, ж) [11].

Компоновка ферм с полураскосными решетками и дополнительными стержнями

Техническим результатом предлагаемого решения является укорочение панелей сжатых (верхних) поясов, унификация их сечений с сечениями растянутых (нижних) поясов, а также сокращение трудозатрат и расхода конструкционного материала. Этот результат достигается тем, что полураскосная решетка стержневых конструкций помимо верхнего (сжатого или сжато-изгибаемого) и нижнего (растянутого) поясов, основных полураскосов и стоек, снабжена также дополнительными полураскосами, имеющими I-образную (рис. 3, а), Y-образную (рис. 3, б), Ψ-образную (рис. 3, в) форму [12].

Рис. 3. Схемы полураскосных решеток ферменных конструкций с грузовыми верхними поясами:

а – с дополнительными I-образными полураскосами; б – с дополнительными Y-образными полураскосами; в – с дополнительными Ψ-образными полураскосами; г – с комбинацией дополнительных I-, Y-, Ψ-образных полураскосов

Верхние элементы дополнительных полураскосов одним концом соединены с верхним поясом, а другим концом оперты на нижние элементы тех же полураскосов. Верхние узловые соединения верхних элементов делят панели верхнего пояса на составные части, а нижние узловые соединения нижних элементов совмещены с узловыми соединениями основных полураскосов и стоек решетки. Предлагаемое техническое решение можно признать достаточно универсальным для того, чтобы использовать в стержневых конструкциях различные комбинации дополнительных I-, Y-, Ψ-образных полураскосов их решеток (рис. 3, г). К тому же, универсальность предлагаемого технического решения проявляется тем, что дополнительные полураскосы I-образной, Y-образной, Ψ-образной формы обладают двойным функциональным назначением. Работая на местные нагрузки, они не участвуют в передачах на опоры поперечных сил.

К тому же, универсальность предлагаемого технического решения проявляется тем, что дополнительные полураскосы I-образной, Y-образной, Ψ-образной формы обладают двойным функциональным назначением. Работая на местные нагрузки, они не участвуют в передачах на опоры поперечных сил. Вместе с тем, как связевые элементы, они уменьшают расчетные длины сжатых поясов. При этом вполне достижима унификация сечений сжатых (верхних) и растянутых (нижних) поясов, что, как правило, сопровождается сокращением трудозатрат и расхода конструкционного материала. Кроме того, предлагаемое техническое решение не менее универсально в ферменных конструкциях, где грузовыми являются их нижние (растянутые) пояса (рис. 4). В частности, такие конструкции могут оказаться фермами с вертикальной нагрузкой по горизонтальному нижнему поясу, проходящему через опорные точки, для которых свойственна

Рис. 4. Схемы полураскосных решеток ферменных конструкций с грузовыми нижними поясами:

а – с дополнительными I-образными полураскосами; б – с дополнительными Y-образными полураскосами; в – с дополнительными Ψ-образными полураскосами; г – с комбинацией дополнительных I-, Y-, Ψ-образных полураскосов

независимость потенциальной энергии деформации от структуры решетки [13].

Пример реализации ферм с полураскосными решетками и дополнительными стержнями

Для большей наглядности примера реализации предлагаемого технического решения можно воспользоваться базовым объектом, совпадающим с прототипом и представляющим собой стержневую конструкцию (ферму) с полураскосной решеткой и нагрузками, приложенными в узлах верхнего и нижнего поясов (рис. 5, а, б) [14]. В качестве основного конструкционного материала весьма рациональны стальные профильные трубы (замкнутые гнутосварные профили) прямоугольного сечения [15, 16].

Прочность растянутого (нижнего) пояса будет обеспечена при условии:

$$\sigma / (\gamma_c R_y) = N / (A \gamma_c R_y) \leq 1, \quad (1)$$

где σ – расчетное значение напряжения при растяжении; γ_c – коэффициент условий работы конструкции; R_y – расчетное сопротивление конструкционного материала по пределу текучести (для стали С245 при толщине $t = 4 \dots 20$ мм $R_y = 2400$ кгс/см²); N – расчетное усилие растяжения; A – площадь расчетного сечения.

Если подставить значение коэффициента $\gamma_c = 1$, то формулу проверки прочности можно записать в следующем виде:

$$\sigma / R_y = N / (A R_y) \leq 1. \quad (2)$$

Устойчивость сжатого (верхнего) пояса будет обеспечена при условии:

$$\sigma / (R_y) = N / (\varphi A R_y) \leq 1, \quad (3)$$

где φ – коэффициент продольного изгиба;

$$\varphi = 1 - 0,066(\bar{\lambda})^{3/2} \text{ при } 0 < \bar{\lambda} \leq 2,5 \text{ или} \quad (4)$$

$$\varphi = 1,46 - 0,34\bar{\lambda} + 0,021(\bar{\lambda})^2 \text{ при } 2,5 < \bar{\lambda} \leq 4,5 \text{ [17];} \quad (5)$$

λ – условная гибкость сжатого стержня, $\bar{\lambda} = \lambda(R_y / E)^{1/2}$; λ – расчетная гибкость сжатого элемента, $\lambda = l_{ef} / i$; l_{ef} – расчетная длина сжатого элемента; i – радиус инерции расчетного сечения; E – модуль упругости конструк-

ционного материала (для стали $E = 2100000$ кгс/см²).

Для нижнего (растянутого) пояса базового объекта (прототипа) можно принять квадратную профильную трубу (гнутосварной профиль) сечением $180 \times 180 \times 1$ мм по ГОСТ Р 54157-2010 ($A = 69,17$ см²; $i_x = i_y = 6,74$ см; $m = 54,30$ кг/м):

$$\sigma / R_y = 160000 / (69,17 \times 2400) = 0,964,$$

где его гибкость соответственно в плоскости фермы и из плоскости имеет следующие значения:

$$\lambda_x = l_x / i_x = 500 / 6,74 = 74,18 \text{ и}$$

$$\lambda_y = l_y / i_y = 1500 / 6,74 = 222,6.$$

Для верхнего (сжатого) пояса базового объекта (прототипа) можно принять квадратную трубу сечением $180 \times 180 \times 16$ мм ($A = 93,97$ см²; $i_x = i_y = 6,43$ см; $m = 73,77$ кг/м):

$$\sigma / R_y = 160000 / (0,711 \times 93,97 \times 2400) = 0,998,$$

$$\text{где } \lambda_x = \lambda_y = 500 / 6,43 = 77,76;$$

$$\bar{\lambda} = 77,76(2400 / 2100000)^{1/2} = 2,629;$$

$$\varphi = 1,46 - 0,34 \times 2,629 + 0,021 \times 2,629^2 = 0,711.$$

Следующим этапом примера реализации предлагаемого технического решения является замена верхнего (сжатого) пояса базового объекта из гнутосварного профиля $180 \times 180 \times 16$ мм на такой же пояс из профиля $180 \times 180 \times 12$ мм ($A = 74,76$ см²; $i_x = i_y = 6,68$ см; $m = 58,45$ кг/м) за счет включения в полураскосную решетку прототипа дополнительных полураскосов I-образной формы (рис. 5, в), делящих сжатые панели пополам ($500/2 = 250$ см):

$$\sigma / R_y = 160000 / (0,906 \times 74,46 \times 2400) = 0,988,$$

$$\text{где } \lambda_x = \lambda_y = 250 / 6,68 = 37,43;$$

$$\bar{\lambda} = 37,43(2400 / 2100000)^{1/2} = 1,265;$$

$$\varphi = 1 - 0,066 \times 1,265^{3/2} = 0,906.$$

Как видно, металлоемкость верхнего пояса сократилась в $73,77/58,45 = 1,262$ раза.

Если подобным образом в полураскосную решетку прототипа взамен дополнительных полураскосов I-образной формы включить аналогичные полураскосы Y-образной формы (рис. 5, г), то сжатые панели верхнего пояса разделятся на три части ($500/3 = 166,7$ см), и для этого пояса можно будет принять гнутосварной профиль $180 \times 180 \times 11,5$ мм

Таблица 1

Расчет масс стержневых элементов ферменных конструкций

Сечение, мм (маркировка)	Длина, мм	Количество, шт.	Масса, кг		
			1 м	1 шт.	всех
1	2	3	4	5	6
□180×180×16 (ВП)	30000	1	73,77	2213	2213
□180×180×11 (НП)	30000	1	54,30	1629	1629
□180×180×11 (С)	5000	2	54,30	271,5	543
□150×150×5,5 (С)	5000	5	22,26	111,3	557
□180×180×11 (ПР)	5590	2	54,30	303,5	607
□160×160×8 (ПР)	5590	4	36,46	203,8	815
□140×140×5,5 (ПР)	5590	4	22,62	126,4	506
□120×120×3 (ПР)	5590	2	10,84	60,5	121
Итого	6991 100%
1	2	3	4	5	6
□180×180×12 (ВП)	30000	1	58,46	1754	1754
□180×180×11 (НП)	30000	1	54,30	1629	1629
□180×180×11 (С)	5000	2	54,30	271,5	543
□150×150×5,5 (С)	5000	5	22,26	111,3	557
□180×180×11 (ПР)	5590	2	54,30	303,5	607
□160×160×8 (ПР)	5590	4	36,46	203,8	815
□140×140×5,5 (ПР)	5590	4	22,62	126,4	506
□120×120×3 (ПР)	5590	2	10,84	60,5	121
□120×120×3 (ПР) ₁	3536	6	10,84	38,3	230
Итого	6762 96,72%
1	2	3	4	5	6
□180×180×11,5 (ВП)	30000	1	56,39	1692	1692
□180×180×11 (НП)	30000	1	54,30	1629	1629
□180×180×11 (С)	5000	2	54,30	271,5	543
□150×150×5,5 (С)	5000	5	22,26	111,3	557
□180×180×11 (ПР)	5590	2	54,30	303,5	607
□160×160×8 (ПР)	5590	4	36,46	203,8	815
□140×140×5,5 (ПР)	5590	4	22,62	126,4	506

□120×120×3 (ПР)	5590	2	10,84	60,5	121
□120×120×3 (ПР _ψ)	2375	6	10,84	25,7	154
□120×120×3 (ПР _ψ)	1863	6	10,84	20,2	121
□120×120×3 (ПР _ψ)	833	6	10,84	9,6	48
Итого	6793 97,17%
1	2	3	4	5	6
□180×180×11 (ВП)	30000	1	54,30	1629	1629
□180×180×11 (НП)	30000	1	54,30	1629	1629
□180×180×11 (С)	5000	2	54,30	271,5	543
□150×150×5,5 (С)	5000	5	22,26	111,3	557
□180×180×11 (ПР)	5590	2	54,30	303,5	607
□160×160×8 (ПР)	5590	4	36,46	203,8	815
□140×140×5,5 (ПР)	5590	4	22,62	126,4	506
□120×120×3 (ПР)	5590	2	10,84	60,5	121
□120×120×3 (ПР _ψ)	3536	6	10,84	38,3	230
□120×120×3 (ПР _ψ)	2795	6	10,84	30,3	182
□120×120×3 (ПР _ψ)	1250	6	10,84	13,6	82
Итого	6901 98,71%

($A = 71,83 \text{ см}^2$; $i_x = i_y = 6,71 \text{ см}$; $m = 56,39 \text{ кг/м}$):

$$\sigma / R_y = 160000 / (0,949 \times 71,83 \times 2400) = 0,978,$$

$$\text{где } \lambda_x = \lambda_y = 166,7 / 6,71 = 24,84;$$

$$\bar{\lambda} = 24,84(2400 / 2100000)^{1/2} = 0,8397;$$

$$\varphi = 1 - 0,066 \times 0,8397^{3/2} = 0,949.$$

Тогда металлоемкость верхнего пояса сократится в $73,77/56,39 = 1,308$ раза.

На завершающем этапе примера реализации предлагаемого технического решения достижима замена верхнего (сжатого) пояса базового объекта из гнутосварного профиля $180 \times 180 \times 16 \text{ мм}$ на такой же пояс из профиля, принятого для нижнего пояса, то есть $180 \times 180 \times 11 \text{ мм}$ за счет включения в полураскосную решетку прототипа дополнительных полураскосов Ψ -образной формы (рис. 5, д), делящих сжатые панели на

четыре части ($500/4 = 125 \text{ см}$):

$$\sigma / R_y = 160000 / (0,967 \times 69,17 \times 2400) = 0,997,$$

$$\text{где } \lambda_x = \lambda_y = 125 / 6,74 = 18,55;$$

$$\bar{\lambda} = 18,55(2400 / 2100000)^{1/2} = 0,6271;$$

$$\varphi = 1 - 0,066 \times 0,6271^{3/2} = 0,967.$$

На этот раз металлоемкость верхнего пояса сократилась в $73,77/54,30 = 1,359$ раза, а ресурс его несущей способности оказался отличным от запаса прочности нижнего пояса с таким же расчетным сечением на $100(0,997 - 0,964)/(0,997 \dots 0,964) = 3,3 \dots 3,4\%$, что обеспечивает необходимую и достаточную равнопрочность обоих поясов при их унификации. Для сравнения можно отметить, что аналогичная унификация расчетных сечений верхних и нижних поясов в стандартизированных фермах из прямоугольных профильных труб (гну-

Таблица 2

Основные результаты оптимизации ферменных конструкций

Ферменная конструкция		Массы стержней, кг			
Схема	h/l	$m_{\dot{O}} = m_{\dot{I}} + m_{\dot{D}}$	$m_{\dot{I}}$	$m_{\dot{D}}$	$m_{\dot{I}} / m_{\dot{D}}$
1/10	866,1 (100%)	664,3	201,8	3,29
801,7 (92,56%)	547,9	253,8	2,16
744,7 (85,98%)	547,9	253,8	1,74
779,8 (90,04%)	472,7	272,0	1,54
1/10	715,4 (100%)	516,6	198,9	2,60
721,2 (100,8%)	441,4	279,8	1,58
700,2 (97,88%)	418,0	282,2	1,48
715,2 (99,97%)	391,0	324,2	1,21
1/5	6991 (100%)	3842	3149	1,220
6762 (96,72%)	3383	3379	1,001
6793 (97,17%)	3321	3472	0,957
6901 (98,68%)	3258	3643	0,894

Примечания: h/l – относительная высота фермы; $m_{\dot{O}}$ – масса стержней фермы;
 $m_{\dot{I}}$ – масса стержней поясов; $m_{\dot{D}}$ – масса стержней решетки.

тосварных профилей) пролетом 36 метров привела к более заметной разнице между ресурсами их несущей способности, составившей от $100(1,0 - 0,92)/(1,0...0,92) = 8,0...8,7\%$ до $100(0,96 - 0,82)/(0,96...0,82) = 14,6...17,1\%$ [18].

За основными результатами приведенных расчетных выкладок, систематизированными в табл. 1, просматривается эффективность предлагаемого технического решения, поскольку оно способствует облегчению самого массивного (тяжелого) элемента ферменной конструкции, коим является ее верхний (сжатый) пояс до уровня, обеспечивающего повторное применение в нем расчетного сечения нижнего пояса. При этом соединительные узлы верхнего пояса с дополнительными полураскосами разных очертаний позволяют опереть на них

определенное количество дополнительных прогонов и раскрепить его сжатые панели из плоскости фермы.

По мере увеличения общего количества прогонов также имеет место их облегчение [4, 11], что представляет собой весьма важный фактор для несущих конструкций, рассчитанных на особые нагрузки и воздействия, а также для объектов повышенной ответственности [19-21].

Заключение

Основные итоги оптимизации ферменных конструкций с полураскосными решетками и дополнительными полураскосами I-образной, Y-образной, Ψ-образной формы более наглядны при сравнении в табличном виде с аналогичными результатами расчетных выкладок

применительно к ферменным конструкциям с треугольными и раскосными решетками, включающими дополнительные стержни (соответственно стойками и раскосами) таких же очертаний, где за эталонные (100-процентные) показатели приняты характеристики ферменных конструкций с решетками без дополнительных стержней (табл. 2).

Из сравнительного анализа видно, что предлагаемая полураскосная решетка стержневых конструкций с дополнительными полураскосами I-образной, Y-образной, Ψ-образной формы достаточно эффективна и рациональна для перспективного применения в составе несущих и связевых систем различных зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 1. Элементы конструкций / Под ред. В. В. Горева. М.: Высшая школа, 2004. 551 с.
2. Металлические конструкции / Под ред. Ю. И. Кудишина. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 688 с.
3. Киселев В. А. Строительная механика. М.: Стройиздат, 1976. С. 107, рис. 103, б.
4. Марутян А. С. Оптимизация ферменных конструкций с раскосными решетками // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2019. Т. 4. № 1. С. 67-79.
5. Металлические конструкции (Вопросы и ответы) / В. В. Бирюлев, А. А. Кользеев, И. И. Крылов, Л. И. Сторожнеко. М.: Издательство АСВ, 1994. С. 144-147.
6. Корнеев М. М. Стальные мосты: Теоретическое и практическое пособие по проектированию. Киев, 2003. С. 183-185.
7. Металлические конструкции / Под ред. Н. П. Мельникова. М.: Стройиздат, 1980. С. 139-152. (Справочник проектировщика).
8. Марк Лоусон, Артем Билык. Стальные конструкции в архитектуре / Украинский Центр стального строительства, 2014. С. 23, 52-56.
9. Еремеев П. Г. Разработка, исследование, проектирование и возведение большепролетных металлических конструкций уникальных зданий и сооружений // Вестник ЦНИИСК. 2009. № 1. С. 107-122.
10. Дыховичный Ю. А. Большепролетные конструкции сооружений Олимпиады-80 в Москве (Конструирование, исследование, проектирование, возведение). М., 1982. 277 с.
11. Марутян А. С. Оптимизация ферменных конструкций со стойками и полураскосами в треугольных решетках // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. № 4. С. 60-68.
12. Марутян А. С. Полураскосная решетка стержневых конструкций с дополнительными стержнями I-образной, Y-образной и Ψ-образной формы. Патент № 196738, 13.03.2020, бюл. № 8.
13. Юрьев А. Г., Зинькова В. А. Оптимизация нагружения металлических ферм // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2020. № 2. С. 56-61.
14. Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Строительная механика. М.: Высшая школа, 1986. С. 117, рис. 4.36, 4.37.
15. J. A. Packer, J. Wardenier, X.-L. Zhao, G. J. van der Vegt and Y. Kurobane. Construction with hollow steel sections. Design Guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading. CIDECT, 2009. 156 p.
16. Павлова И. Г. Анализ развития и производства профилей стальных гнутых замкнутых сварных для строительных металлоконструкций // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2018. № 6. С. 45-51.
17. Пособие по проектированию стальных конструкций. М.: ЦИТП, 1989. С. 17.
18. Барановский М. Ю., Тарасов В. А. Стандартизированные ферменные конструкции с уклоном 10% пролетами 24, 30, 36 метров // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 7. С. 92-106.
19. Есипов А. В., Алексеева А. А. Расчет прогонов с учетом недопущения прогрессирующего обрушения шатра покрытия здания со стальным каркасом // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2018. № 4. С. 89-93.

20. Ведяков И. И., Еремеев П. Г., Соловьев Д. В. Научно-техническое сопровождение и нормативные требования при реализации проектов зданий и сооружений повышенного уровня ответственности // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 12. С. 14-19.
21. Гарькин И. Н., Гарькина В. А. Техническая экспертиза: предотвращение обрушений зданий // Вестник ПГУАС: Строительство, наука и образование. 2020. № 1. С. 28-32.

OPTIMIZATION OF TREE STRUCTURES WITH HALF-DRAWER GRIDS

© A.S. Marutyan

NSFU branch, Pyatigorsk, Russia

A new technical solution is presented in the form of additional I-shaped, Y-shaped, Ψ -shaped rods in half-diagonal lattices for rod (truss) structures. The effectiveness of their use in farms is shown, in which not only the upper (compressed) belts, but also the lower (extended) ones, are cargo. The degree of unification of the truss structure from bent welded profiles (profile pipes) of a rectangular section due to the reuse in the upper zone of the design section adopted for the lower belt is increased. At the same time, the resources of the bearing capacity differ between them within a 3... 4 percent threshold, which ensures the necessary and sufficient equal strength of both zones when unifying them. The connecting nodes of the upper belt with additional half-braces of different shapes allow to support a certain number of runs with reduced sizes of cargo areas. An increase in the total number of runs leads to their facilitation, which is a very important factor for load-bearing structures designed for special loads and impacts, as well as for objects of increased responsibility. The prospects of applying a new technical solution as a part of the bearing and communication systems of various buildings and structures are revealed.

Keywords: light metal structures, closed bent welded profiles, core systems, trusses, optimization, consumption of structural material.

REFERENCES

1. (2004) Metallicheskie konstruksii. V 3 t. T. 1. Elementy konstruksii. ["Metal constructions", in Goreva V.V. (Ed.), *Elements of structures, In 3 volumes. V. 1.*]. Vysshaya shkola, Moscow, p. 551.
2. Metallicheskie konstruksii. (2007). ["Metal constructions", in Kudishina Yu.I. (ed.)]. Publishing Center "Academy", Moscow, p. 688.
3. Kiselev, V.A. *Stroitel'naya mekhanika*. (1976). [Structural mechanics]. Stroiizdat, Moscow, fig. 103, b. p. 107.
4. Marutyan, A. S. (2019) Optimizatsiya fermennykh konstruksii s raskosnymi reshetkam. Groznenskii estestvennonauchnyi byulleten'. [Optimization of truss structures with diagonal grids. *Grozny natural science bulletin.*]. Vol. 4. No. 1. pp. 67-79.
5. Biryulev, V. V., Kol'zhev, A. A., Krylov, I. I. and Storozhneko, L. I. (1994) Metallicheskie konstruksii (Voprosy i otvety). [Metal structures (Questions and answers)]. Publishing house ASV, Moscow, pp. 144-147.
6. Korneev, M. M. (2003) Stal'nye mosty: Teoreticheskoe i prakticheskoe posobie po proektirovaniyu. [Steel Bridges: A Theoretical and Practical Guide to Design]. Kiev, pp. 183-185.
7. Metallicheskie konstruksii. (1980). ["Metal constructions", in N.P. Mel'nikova (ed.), (Designer handbook)]. Stroiizdat, Moscow, pp. 139-152.

8. Mark Louson and Artem Bilyk. (2014) Stal'nye konstruksii v arkhitekture. Ukrainskii Tsent stal'nogo stroitel'stva. [Steel structures in architecture. Ukrainian Center for Steel Construction]. pp. 23, 52-56.
9. Eremeev, P. G. (2009) Razrabotka, issledovanie, proektirovanie i vozvedenie bol'sheproletnykh metallicheskh konstruksii unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii. *Vestnik TsNIISK*. [Development, research, design and construction of large-span metal structures of unique buildings and structures. *Vestnik TsNIISK*.] № 1. pp. 107-122.
10. Dykhovichnyi, Yu. A. (1982) Bol'sheproletnye konstruksii sooruzhenii Olimpiady-80 v Moskve (Konstruirovaniye, issledovaniye, proektirovaniye, vozvedeniye). [Dykhovichnyi Yu. A. Large-span structures of the facilities of the 1980 Olympics in Moscow (Construction, research, design, construction)]. Moscow. p. 277.
11. Marutyan, A. S. (2016) Optimizatsiya fermennykh konstruksii so stoikami i poluraskosami v treugol'nykh reshetkakh. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii. [Optimization of truss structures with racks and half-slopes in triangular lattices. *Structural mechanics and calculation of structures*.] № 4. pp. 60-68.
12. Marutyan, A. S. Poluraskosnaya reshetka sterzhnevykh konstruksii s dopolnitel'nymi sterzhnyami I-obraznoi, Y-obraznoi i Ψ -obraznoi formy. Patent № 196738, 13.03.2020, byul. № 8. [Semi-slanting lattice of bar structures with additional I-shaped, Y-shaped and Ψ -shaped rods. – Patent No. 196738, 03/13/2020, bul. No. 8.].
13. Yur'ev, A. G. and Zin'kova, V. A. (2020) Optimizatsiya nagruzheniya metallicheskh ferm. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova. [Yuriev A. G., Zinkova V. A. Optimization of loading of metal trusses. *Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov*.] № 2. pp. 56-61.
14. Darkov, A. V. and Shaposhnikov, N. N. (1986) Stroitel'naya mekhanika. [Structural mechanics]. Higher school, Moscow, fig. 4.36, 4.37. p. 117.
15. Packer J. A., Wardenier J., Zhao X.-L., G. J. van der Vegte and Kurobane Y. (2009) Construction with hollow steel sections. Design Guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading. CIDECT, p. 156.
16. Pavlova, I. G. (2018) Analiz razvitiya i proizvodstva profilei stal'nykh gnutykh zamknutykh svarnykh dlya stroitel'nykh metallokonstruksii. Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury. [Analysis of the development and production of steel bent closed welded profiles for building metal structures. *Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture*.] № 6. pp. 45-51.
17. Posobie po proektirovaniyu stal'nykh konstruksii. (1989). [Steel Structural Design Manual] Moscow, TsITP, p. 17.
18. Baranovskii, M. Yu. and Tarasov, V. A. (2014) Standartizirovannye fermennye konstruksii s uklonom 10% proletami 24, 30, 36 metrov. Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii. [Standardized truss structures with a slope of 10%, spans 24, 30, 36 meters. *Construction of unique buildings and structures*.] № 7. pp. 92-106.
19. Esipov, A. V. and Alekseeva, A. A. (2018) Raschet progonov s uchetom nedopushcheniya progressiruyushchego obrusheniya shatra pokrytiya zdaniya so stal'nym karkasom. Akademicheskii vestnik UralNIIproekt RAASN. [Calculation of runs taking into account the prevention of the progressive collapse of the roof of a building with a steel frame. *Academic Bulletin UralNIIproekt RAASN*.] № 4. pp. 89-93.
20. Vedyakov, I. I., Eremeev, P. G. and Solov'ev, D. V. (2018) Nauchno-tekhnicheskoe soprovozhdenie i normativnye trebovaniya pri realizatsii proektov zdaniy i sooruzhenii povyshennogo urovnya otvetstvennosti. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. [Scientific and technical support and regulatory requirements for the implementation of projects of buildings and structures with a higher level of responsibility. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*.] № 12. pp. 14-19.
21. Gar'kin, I. N. and Gar'kina, V. A. (2020) Tekhnicheskaya ekspertiza: predotvrashchenie obrusheniya zdaniy. Vestnik PGUAS: Stroitel'stvo, nauka i obrazovanie. [Technical expertise: preventing collapse of buildings. *Bulletin of PGUAS: Construction, Science and Education*.] № 1. pp. 28-32.