УДК 624.01

А.С. Марутян, В.Н. Оробинская

ФГАОУ ВПО «СКФУ»

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ С РЕШЕТКАМИ ИЗ КРУГЛЫХ И ОВАЛЬНЫХ ТРУБ

Аннотация. Среди общего ряда современных металлических конструкций с использованием профильных труб (гнутосварных профилей) рассмотрены блоки покрытий и перекрытий из перекрестных ферм типа «Пятигорск» как наиболее перспективные решения. Из-за небольших размеров они условно классифицируются как «карманные» модули и изготавливаются цельносварными. Представлена перспективность применения профильных труб круглого и овального сечений для дальнейшей модернизации перекрестных ферм и других решетчатых конструкций. Показана вполне приемлемая корректность и простота оптимизационного расчета овальных сечений по приближенной методике. Описано новое техническое решение решетчатых конструкций, способствующее улучшению их технико-экономических характеристик. Выявлены снижение расхода конструкционного материала при реализации такого решения на примере стропильных ферм, а также повышение степени надежности и конструктивной безопасности зданий и сооружений за счет приближения решетчатых конструкций к их расчетным схемам (моделям) в виде шарнирно-стержневых систем.

Ключевые слова: легкие металлические конструкции, замкнутые гнутосварные профили, перекрестные системы, оптимизация, расход конструкционного материала, круглые трубы, овальные трубы

DOI: 10.22227/1997-0935.2016.10.45-57

Накопленный опыт проектирования и строительства объектов с использованием перекрестных конструкций подтверждает рациональность, эффективность и универсальность их базовых технических решений, обеспечивающих повышенные ресурсы силового сопротивления и устойчивости к прогрессирующему (лавинообразному) разрушению [1]. В общем ряду перекрестных систем из трубчатых (гнутосварных) профилей свою нишу рационального применения заняли легкие металлические конструкции комплектной поставки, представляющие собой блоки (модули) покрытий и перекрытий из перекрестных ферм типа «Пятигорск». Несмотря на нестабильность конъюнктуры, они продолжают пользоваться спросом, привлекая внимание инвесторов и заказчиков своими технико-экономическими характеристиками (рис. 1). Сравнительно небольшие, но наиболее востребованные размеры (чаще в пределах $(6 \times 6) \dots (12 \times 12)$ м) позволяют условно классифицировать их как «карманные» модули и изготавливать цельносварными из прямоугольных (квадратных) труб [2–4]. Для поддержания и увеличения конкурентоспособности этих конструкций, а также повышения их надежности необходима дальнейшая модернизация при помощи разработки и исследования новых технических решений [5–8].

В поисках новых технических решений весьма эффективен учет многолетних опыта и практики применения стальных прутковых конструкций покрытий [9], который сопровождается заменой зигзагообразных решеток из прутков

аналогичными по очертанию решетками из профильных труб. Так, применительно к беспрогонным покрытиям разработано решение ферм с зигзагообразными решетками из круглых и овальных труб, у которых поперечные сечения имеют габариты с отношением $1/2,5$, где больший габарит расположен в плоскости конструкции, а меньший — перпендикулярно этой плоскости [10]. Для непосредственного примыкания к поясам и формирования бесфасоночных узлов круглый или овальный профиль в заданных по проекту местах сплющивают и путем двойных гибов придают ему зигзагообразный вид. Протяженность полосовой (ленточной) заготовки трубчатого профиля можно подобрать так, что ее хватит на всю длину конструкции или всю длину отправочной марки. По сравнению с прутковыми такие решетки имеют более высокую несущую способность (особенно при сжатии), что позволяет увеличить нагрузку на конструкцию или при фиксированной нагрузке снизить ее металлоемкость.

Рис. 1. Снимок монтажа перекрестных ферм типа «Пятигорск» из квадратных труб (гнутоварных профилей)

Сплющивания и двойные гибы трубчатых элементов решеток обеспечивают компоновку бесфасоночных узловых соединений без конструктивных эксцентриситетов (рис. 2, а), характерных для стропильных и подстропильных ферм из прямоугольных (квадратных) гнутосварных замкнутых профилей, что исключает появление изгибающих моментов и позитивно влияет на расход конструкционного материала. Однако вместе с тем для повышения степени унификации узлов верхних и нижних поясов вполне оправдано применение конструктивных эксцентриситетов, ограниченных $0,25$ высоты поясных элементов (рис. 2, б), что позволяет не учитывать их в расчетах [11].

Сплющивание также предохраняет стенку поясных элементов от продавливания и позволяет уменьшить ее толщину. По линиям гибов в плоскости

конструкции образуются листовые шарниры, которые соответствуют шарнирно-стержневой расчетной схеме (модели) и избавляют от необходимости учитывать жесткости узлов, что также способствует снижению металлоемкости. Перпендикулярно плоскости конструкции те же загибы сплюсненных участков овального профиля имеют наибольшую жесткость, приближенную к жесткости рамного крепления, за счет которого в несущих конструкциях можно сократить связевые элементы.

Рис. 2. Схемы фрагментов ферм из трубчатых профилей: *а* — без эксцентриситетов в узловых соединениях; *б* — с конструктивными эксцентриситетами для унификации узловых соединений верхних и нижних поясов

При шарнирных закреплениях в плоскости конструкции и жестких (рамных) закреплениях перпендикулярно этой плоскости расчетная длина стержневых элементов решетки в плоскости конструкции в 2 раза больше их расчетной длины при расположении перпендикулярно плоскости [12]. Поэтому для обеспечения равной гибкости стержневых элементов решетки, расположенных как в плоскости, так и перпендикулярно ей, целесообразен такой профиль поперечного сечения, у которого радиусы инерции по главным центральным осям отличаются между собой в 2 раза. Такому условию вполне отвечает тонкостенное трубчатое сечение овальной формы с отношением габаритов $1/2,5$, где больший габарит расположен в плоскости конструкции, а меньший перпендикулярно этой плоскости. Причем значение радиуса инерции по большему габариту превышает величину радиуса инерции аналогичного (равновеликого по площади сечения) круглого профиля, что определенным образом способствует дальнейшему снижению материалоемкости несущих конструкций. Кроме того, овальные профили с отношением габаритов $1/2,5$ отличаются

от овальных труб по ГОСТ Р 54157-2010 [13] и от другого известного технического решения, согласно которому для повышения несущей способности цилиндрической трубы на изгиб ее обжимают, деформируя в овальный профиль с отношением габаритов 1/3 и вертикальным расположением большего из них [14, 15].

Для вывода приведенного отношения и количественной оценки ресурсов несущей способности целесообразно использовать расчетные формулы осевых моментов инерции I_x и I_y , а также площади сечения A трубчатого профиля с овальной формой поперечного сечения (рис. 3) [16]:

Рис. 3. Расчетная схема сечения овальных труб (а) и снимок среза разнокалиберных профилей (б)

$$I_x = (\pi / 32) V^2 t (3U + V) = (\pi / 32) (U / n)^2 t (3U + U / n) =$$

$$= (\pi / 32) U^3 t (3 + 1 / n) / n^2; \quad (1)$$

$$I_y = (\pi / 32) U^2 t (3V + U) = (\pi / 32) U^2 t (3U / n + U) =$$

$$= (\pi / 32) U^3 t (3 / n + 1); \quad (2)$$

$$A = (\pi / 2) t (U + V) = (\pi / 2) t (U + U / n) = (\pi / 2) U t (1 + 1 / n), \quad (3)$$

где V — больший габарит по средней (срединной) линии сечения овальной трубы; t — толщина стенки овальной трубы; U — меньший габарит по средней (срединной) линии сечения овальной трубы; n — отношение меньшего (горизонтального) габарита к большему (вертикальному):

$$n = U/V. \quad (4)$$

Чтобы радиусы инерции по главным центральным осям различались между собой в 2 раза ($i_x = 2i_y$), соответствующие моменты инерции должны разниться в 4 раза, т.е. $I_x = 4I_y$.

Если подставить значения моментов инерции (1) и (2)

$$(\pi/32)U^3t(3+1/n)/n^2 - 4(\pi/32)U^3t(3/n+1) = 0;$$

$$(3+1/n)/n^2 - 4(3/n+1) = 0,$$

то для отношения меньшего габарита к большему ($n = U/V$) можно получить кубическое уравнение

$$4n^3 + 12n^2 - 3n - 1 = 0$$

с корнями

$$n_1 = -3,209416; n_2 = -0,193385; n_3 = 0,402801.$$

Как видно, из этих корней прикладное значение имеет последний, величину которого вполне допустимо округлить до значения n :

$$n = 0,4 = 1/2,5 \quad (5)$$

и получить при $100(0,402801 - 0,4)/(0,402801...0,4) = 0,695...0,700\%$ -й погрешности уже приведенное отношение.

Дальнейшие расчетные выкладки более наглядны при использовании трубчатого профиля круглого сечения [17]:

$$d = U = V(n = 1);$$

$$A = \pi dt = 3,14dt; \quad (6)$$

$$I_x = I_y = \pi d^3 t / 8 = 0,39250d^3 t; \quad (7)$$

$$i_x = i_y = 0,3535533d, \quad (8)$$

где d — диаметр круглой трубы по средней (срединной) линии ее сечения.

Протяженность средней (срединной) линии овального сечения L можно вычислить из формулы (3)

$$L = A/t = (\pi/2)Ut(1+1/n)/t = (\pi/2)U(1+1/n) = 1,57U(1+1/n), \quad (9)$$

тогда при $n = 0,4$ ($U = 0,4V$ или $2,5U = V$)

$$L = 5,495U \text{ или } L = 2,198V,$$

а при $n = 1$ ($d = U = V$)

$$L = 3,14d = \pi d,$$

откуда с учетом постоянства начальных параметров листовой заготовки (штрипса) для производства трубчатых профилей ($A = \text{const}$, $t = \text{const}$, $L = \text{const}$) вытекает

$$U = 3,14d / 5,495 = 0,5714285d \quad (10)$$

и

$$V = 3,14d / 2,198 = 1,4285714d. \quad (11)$$

Таким образом, для овальной трубы при отношении габаритов ее сечения $0,5714285/1,4285714 = 1/2,5$ можно записать:

$$\begin{aligned} I_x &= (\pi / 32) V^2 t (3U + V) = \\ &= (3,14 / 32) (1,428571d)^2 t (3 \cdot 0,5714285d + 1,4285714d) = \\ &= 0,629373d^3 t; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} I_y &= (\pi / 32) U^2 t (3V + U) = \\ &= (3,14 / 32) (0,5714285d)^2 t (3 \cdot 1,428571d + 0,5714285d) = \\ &= 0,1556267d^3 t; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} A &= (\pi / 2) t (U + V) = (3,14 / 2) t (0,5714285d + 1,4285714d) = \\ &= 3,1399998dt = 3,14dt; \end{aligned} \quad (14)$$

$$i_x = 0,4477021d; \quad (15)$$

$$i_y = 0,2226265d, \quad (16)$$

а заданные отношения составляют

$$I_x / I_y = 0,629373 / 0,1556267 = 4,0441196 \approx 4$$

при 1,09...1,10 %-й погрешности;

$$i_x / i_y = 0,4477021 / 0,2226265 = 2,0110009 \approx 2$$

при 0,547...0,550 %-й погрешности.

Здесь радиус инерции в плоскости несущей конструкции возрос в $0,4477021 / 0,3535533 = 1,266293 \approx 1,27$ раза.

Корректность расчетных положений подтвердилась на примере с использованием круглых труб в качестве стержневых элементов из сортамента структурных конструкций типа МАРХИ, «Кисловодск» [18]. Параметры 11 калибров трубчатых профилей (круглых и производных от них овальных), собранные в табл. 1, наглядно иллюстрируют применимость и практичность всех приведенных выкладок, включая рост расчетных параметров геометрических характеристик сечений в плоскости конструкции.

Формирование переходной и сплюсненной частей стержневых элементов трубчатого сечения решеток рекомендуется производить с обеспечением уклона переходного участка 1/4 [19]. По линиям двойных гибов образуются листовые шарниры, расстояние между которыми можно подобрать из условия абсолютной центровки или допуска конструктивных эксцентриситетов бесфасоночных узлов фермы, как с треугольной решеткой, так и раскосной. Между этими шарнирами сплюсненный участок круглого или овального профиля решетки подкрепляет стенку профиля поясного элемента, одновременно обеспечивая необходимое и достаточное условие для размещения сварных швов. Последние должны рассчитываться лишь на разность усилий в примыкающих раскосах треугольной решетки или раскосе и стойке раскосной, а свариваться они могут в самом удобном (нижнем) положении. Кроме того, следует заметить, что листовые шарниры в рассматриваемых бесфасоночных узловых соединениях обеспечивают приближение решетчатых конструкций к их расчетным схемам (моделям) в виде шарнирно-стержневых систем [20], что повышает степень надежности и конструктивной безопасности зданий и сооружений.

Табл. 1. Расчетные параметры геометрических характеристик сечений круглых труб и производных от них овальных профилей

Сечения $D \times t$, мм	$\circ 51 \times 3$	$\circ 60 \times 3$	$\circ 76 \times 3$	$\circ 89 \times 3,5$	$\circ 102 \times 3,5$	$\circ 114 \times 4$	$\circ 127 \times 4,5$	$\circ 127 \times 6$	$\circ 133 \times 8$	$\circ 146 \times 10$	$\circ 159 \times 12$
Формулы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$d = D - t$, мм	48	57	73	85,5	98,5	110	122,5	121	125	136	147
t / d	1/16	1/19	1/24,3	1/24,4	1/28,14	1/27,5	1/27,2	1/20,2	1/15,6	1/13,6	1/12,3
$A_c = \pi \frac{D^2 - (D - 2t)^2}{4}$, см ²	4,5216	5,3694	6,8766	9,3965	10,8252	13,8160	17,3093	22,7964	31,40	42,7040	55,3896
$A_c = \pi d t$, см ²	4,5216	5,3694	6,8766	9,3965	10,8252	13,8160	17,3093	22,7964	31,40	42,7040	55,3896
$I_c = \pi \frac{D^4 - (D - 2t)^4}{64}$, см ⁴	13,0731	21,8669	45,8841	86,0069	131,4151	209,2433	325,1218	418,2285	615,7933	992,6545	1506,112
$I_c = \frac{\pi d^3 t}{8}$, см ⁴	13,0222	21,8065	45,8068	85,8630	131,2854	208,9670	324,6837	417,2026	613,2813	987,3165	1496,142
$i_c = \sqrt{I_c / A_c}$, см	1,6971	2,0153	2,5809	3,0229	3,4825	3,8891	4,3310	4,2780	4,4194	4,8083	5,1972
$U = 0,5714285d$, мм	27,4	32,6	41,7	48,9	56,3	62,9	70,0	69,1	71,4	77,7	84,0
$V = 1,4285714d$, мм	68,6	81,4	104,3	122,1	140,7	157,1	175,0	172,9	178,6	194,3	210,0
$n = U / V$	1/2,5036	1/2,4969	1/2,5012	1/2,4969	1/2,4991	1/2,4976	1/2,50	1/2,5022	1/2,5014	1/2,5006	1/2,50
$A_0 = \frac{\pi}{2} t(U + V)$, см ²	4,5216	5,3694	6,8766	9,3965	10,8252	13,8160	17,3093	22,7964	31,40	42,7040	55,3896
$I_{ox} = 0,629373d^3 t$, см ⁴	20,8811	34,9666	73,4510	137,6811	210,5159	335,0782	520,6296	668,9836	983,3953	1583,160	2399,0613
$I_{oy} = 0,1556267d^3 t$, см ⁴	5,1633	8,6463	18,1624	34,0448	52,0548	82,8557	128,7374	165,4213	243,1667	391,4721	593,2222
$i_{ox} = \sqrt{I_{ox} / A_0}$, см	2,1490	2,5519	3,2682	3,8278	4,4099	4,9247	5,4843	5,4172	5,5963	6,0887	6,5812
$i_{oy} = \sqrt{I_{oy} / A_0}$, см	1,0686	1,2690	1,6252	1,9035	2,1929	2,4489	2,7272	2,6938	2,7828	3,0277	3,2726
I_{ox} / I_{oy}	4,044138	4,044111	4,044124	4,044115	4,044121	4,044118	4,044121	4,044120	4,044120	4,044120	4,044119
i_{ox} / i_{oy}	2,011042	2,010954	2,010952	2,010927	2,010990	2,010985	2,010964	2,010988	2,011032	2,010998	2,011004
i_{ox} / i_c	1,266278	1,266263	1,26626	1,266267	1,266303	1,266283	1,266290	1,266293	1,266303	1,266290	1,266297

Для сравнения предлагаемых и известных технических решений в качестве базового объекта приняты четыре варианта стальной фермы покрытия промышленного здания пролетом 18 м из трубчатых профилей:

- стропильная ферма из гнутосварных профилей прямоугольного и квадратного сечений [21];
- ферма с решеткой из ромбической трубы [22];
- ферма с решеткой из круглой трубы;
- ферма с решеткой из овальной трубы.

Расход материала в сравниваемых вариантах приведен в табл. 2, из которой видно, что в новом решении он имеет минимальное значение.

Табл. 2. Расход конструкционного материала на стержневые элементы ферм

Сечение, мм	Длина, мм*	Количество, шт.	Масса, кг				Примечания
			1 м	1 шт.	Всех	Итого	
□ 160 × 120 × 5	9000	2	20,7	186,3	372,6	880,4 (100 %)	Пояса
□ 120 × 4	7500	2	14,3	107,3	214,6		Решетка
□ 100 × 4	2390	8	11,8	28,2	225,6		
□ 80 × 3	2390	4	7,07	16,9	67,6		
□ 160 × 120 × 5	9000	2	20,7	186,3	372,6	851,7 (96,7 %)	Пояса
□ 120 × 4	7500	2	14,3	107,3	214,6		Решетка
◇ 80 × 4	2390	12	9,22	22,04	264,5		
□ 160 × 120 × 5	9000	2	20,7	186,3	372,6	831,0 (94,4 %)	Пояса
□ 120 × 4	7500	2	14,3	107,3	214,6		Решетка
○ 102 × 3,5	2390	12	8,50	20,32	243,8		
□ 160 × 120 × 5	9000	2	20,7	186,3	372,6	799,3 (90,8 %)	Пояса
□ 120 × 4	7500	2	14,3	107,3	214,6		Решетка
0 125,6 × 52,4 × 3,5** (○ 89 × 3,5)	2390	12	7,38	17,64	212,1		

* Размеры приведены в осях без учета детализовки.

** Размеры овальной трубы указаны по наружным габаритам ее профиля.

Таким образом, предлагаемое техническое решение позволяет проводить в зависимости от требований проекта определенный подбор отношения габаритов сечения овальных труб, а также от расположения этих габаритов в осевой плоскости конструкции (фермы), чтобы регулировать ее напряженно-деформированное состояние. Такое регулирование обеспечивает оптимизацию физико-механических параметров и технико-экономических характеристик несущих конструкций зданий и сооружений. При этом появляется возможность в качестве исходных заготовок для овальных профилей применять соответствующие им по калибру круглые трубы, что может привести к дополнительному положительному эффекту. В качестве заводских соединений таких заготовок вполне применимы сварные стыки с продольными прорезями [23], которые проще размещать на участках, свободных от сплющивания. Подобное регулирование не ограничивается приведенными значениями $1/2,5$ ($n = 0,4$) и

1/1 ($n = 1$), но, имея весьма широкий диапазон (рис. 4), в общем случае может обеспечить эффективность дальнейшей оптимизации несущих конструкций зданий и сооружений.

Рис. 4. Графики изменения статических характеристик сечений овальных труб в зависимости от увеличения отношения их габаритов

Выполненные проработки технических решений несущих конструкций (ферм) из квадратных (прямоугольных), круглых и овальных труб, а также расчетные выкладки овальных, в т.ч. круглых сечений, позволяют сделать ряд выводов:

- для поддержания и увеличения конкурентоспособности несущих конструкций из квадратных (прямоугольных) труб, включая модули из перекрестных ферм типа «Пятигорск», целесообразна их модернизация с использованием профильных труб овального сечения, а также их бесфасоночных примыканий в соединительных узлах за счет сплющиваний и двойных гибов;
- листовые шарниры в бесфасоночных узловых соединениях обеспечивают приближение решетчатых конструкций к их расчетным схемам (моделям) в виде шарнирно-стержневых систем, что повышает степень надежности и конструктивной безопасности зданий и сооружений;
- приближенный расчет овальных, в т.ч. круглых сечений, подтвердил его корректность и простоту для практического решения задач по оптимизации несущих конструкций;
- подбор оптимальных параметров труб овальных сечений и их применение в несущих конструкциях взамен круглых профилей обеспечивает увеличение жесткости (или уменьшение гибкости) стержневых элементов решеток;

• сравнение на одном и том же базовом объекте предлагаемых и известных решений выявило уменьшение расхода конструкционного материала (стали), что обеспечивает поддержание и увеличение конкурентоспособности несущих конструкций при их модернизации.

Библиографический список

1. Трофимов В.И., Каминский А.М. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений (разработка конструкций, исследования, расчет, изготовление, монтаж). М. : Изд-во АСВ, 2002. С. 72–75, 107–115.
2. Марутян А.С. Проектирование легких металлоконструкций из перекрестных систем, включая модули типа «Пятигорск». Пятигорск : СКФУ, 2013. 436 с.
3. Марутян А.С., Кобаля Т.Л. Легкие металлоконструкции из перекрестных ферм типа «Пятигорск» // Современная наука и инновации. 2014. № 1. С. 15–23.
4. Марутян А.С., Кобаля Т.Л. Легкие металлоконструкции из перекрестных ферм типа «Пятигорск-2» // Современная наука и инновации. 2014. № 2. С. 27–35.
5. Инжутов И.С., Дмитриев П.А., Деордиев С.В., Захарюта В.В. Анализ существующих узлов сопряжения пространственных конструкций и разработка сборно-разборного узлового элемента // Вестник МГСУ. 2013. № 3. С. 61–71.
6. Морозова Д.В., Серова Е.А. Проблема технико-экономического обоснования при проектировании стыков металлических конструкций // Вестник МГСУ. 2012. № 12. С. 219–223.
7. Морозова Д.В., Серова Е.А. Проблематика исследования напряженно-деформированного состояния узлов металлических конструкций // Вестник МГСУ. 2014. № 5. С. 44–50.
8. Туснина В.М. Перспективы строительства доступного жилья на основе стальных каркасов // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 6. С. 43–46.
9. Подлипский А.А. Стальные прутковые конструкции покрытий. М. : Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1954. 144 с.
10. Пат. 2554643 RU, МПК E04B 1/58. Несущая конструкция с решеткой из овальной трубы / А.С. Марутян ; патентообл. А.С. Марутян. № 2014120023/03 ; заявл. 19.05.2014 ; опубл. 27.06.2015. Бюл. № 18.
11. Руководство по проектированию стальных конструкций из гнутосварных замкнутых профилей. М. : ЦНИИпроектстальконструкция, 1978. С. 24.
12. Металлические конструкции : в 3 т. / под ред. В.В. Горева. М. : Высшая школа, 2004. Т. 1. Элементы конструкций. С. 332.
13. ГОСТ Р 54157-2010. Трубы стальные профильные для металлоконструкций. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2011. С. 55–61.
14. Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Рубликов С.Г. Новые эффективные профили // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2005. № 10. С. 117–120.
15. Пат. 2304479 RU, МПК B21D9/00 Способ повышения несущей способности цилиндрической трубы на изгиб / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, А.К. Нежданов, С.Г. Рубликов ; патентообл. ПГУАС. № 2005115787/02 ; заявл. 24.05.2005 ; опубл. 27.11.2006. Бюл. № 33.
16. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений: Расчетно-теоретический. В 2 кн. / под ред. А.А. Уманского. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Стройиздат, 1972. Кн. 1. С. 364.
17. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов / отв. ред. Г.С. Писаренко. 2-е изд., перераб. и доп. Киев : Наукова думка, 1988. С. 60–61.
18. Стержни и узловые элементы системы МАРХИ : ТУ 5285-001-47543297-09. М. : ООО НПЦ «Виктория», 2009. 61 с.

19. Packer J.A., Wardenier J., Zhao X.-L., van der Vegte G.J., Kurobane Y. Construction with hollow steel sections. Design Guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading. CIDECT, 2009. P. 102. Режим доступа: <http://212.150.245.105/shared/eBooks/DG3-eng-2nd-edt-version-02-12-09.pdf>.

20. Покровский А.А. Об учете жесткостей узлов в расчетах ферм с элементами малой гибкости // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 3. С. 31–32.

21. Кузин Н.Я. Проектирование и расчет стальных ферм покрытий промышленных зданий. М. : Изд-во АСВ, 1998. С. 157–172.

22. Марутян А.С. Оптимизация конструкций из трубчатых (гнуто сварных) профилей квадратных (прямоугольных) и ромбических сечений // Строительная механика и расчет сооружений. 2016. № 1 (264). С. 30–38.

23. Марутян А.С. Стыковые соединения стержневых элементов металлоконструкций // Расчет и проектирование металлических конструкций : сб. докладов науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию проф. Е.И. Белени (г. Москва 25 марта 2013 года) / под ред. А.Р. Туснина. М. : МГСУ, 2013. С. 147–153.

Поступила в редакцию в июне 2016 г.

Об авторах: **Марутян Александр Суменович** — кандидат технических наук, доцент кафедры строительства, филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске (ФГАОУ ВПО «СКФУ»), 357500, г. Пятигорск, пр-т 40 лет Октября, д. 56, al_marut@mail.ru;

Оробинская Валерия Николаевна — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела планирования и организация научно-исследовательской работы, филиал Северо-Кавказского федерального университета в г. Пятигорске (ФГАОУ ВПО «СКФУ»), 357500, г. Пятигорск, пр-т 40 лет Октября, д. 56, orobinskaya.val@yandex.ru.

Для цитирования: *Марутян А.С., Оробинская В.Н. Оптимизация конструкций с решетками из круглых и овальных труб // Вестник МГСУ. 2016. № 10. С. 45–57. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.10.45-57*

A.S. Marutyan, V.N. Orobinskaya

OPTIMIZATION OF CONSTRUCTIONS WITH GRATES MADE OF ROUND AND OVAL TUBES

The gathered experience of design and construction of objects with the use of grid structures confirms the expediency, efficiency and flexibility of their minimum technical solutions providing increased strength and resistance to progressive collapse.

From the general range of modern metal designs using shaped tubes (bent and welded profiles) the article observes blocks of roofs and ceilings made of cross-type farms «Pyatigorsk» as the most step-ahead solutions. Due to the small size they are conventionally classified as «pocket» modules produced all-welded. Prospects of the use of shaped tubes of round and oval cross-sections for further modernization of farms and other cross-lattice structures are presented. The article demonstrates quite acceptable accuracy and ease of optimization calculation of oval cross sections according to an approximation method. The authors describe a new technical solution for lattice structures, which contributes to the improvement of their technical and economic characteristics. Reduction in the consumption of structural material when implementing such a solution is discovered by the example of roof trusses, as well as increase of the reliability and structural safety of buildings and structures by approximation of lattice structures to their design schemes (models) in the form hinged-rod systems.

Key words: light-weight metal structures, closed roll-formed sections, cross shaped systems, optimization, consumption of structural material, round tubes, oval tubes

References

1. Trofimov V.I., Kaminskiy A.M. *Legkie metallicheskie konstruksii zdaniy i sooruzheniy (razrabotka konstruksiy, issledovaniya, raschet, izgotovlenie, montazh)* [Lightweight Metal Structures of Buildings and Constructions (Design Engineering, Investigation, Calculation, Production, Assembling)]. Moscow, ASV Publ., 2002, pp. 72–75, 107–115. (In Russian)
2. Marutyan A.S. *Proektirovanie legkikh metallokonstruksiy iz perekrestnykh sistem, vkluchaya moduli tipa «Pyatigorsk»* [Design of Lightweight Metal Structures Made of Cross Shaped Systems, Including Modules of “Pyatigorsk” Type]. Pyatigorsk, SKFU Publ., 2013, 436 p. (In Russian)
3. Marutyan A.S., Kobaliya T.L. *Legkie metallokonstruksii iz perekrestnykh ferm tipa «Pyatigorsk»* [Lightweight Metal Structures Made of Cross Trusses of “Pyatigorsk” Type]. *Sovremennaya nauka i innovatsii* [Modern Science and Innovation]. 2014, no. 1, pp. 15–23. (In Russian)
4. Marutyan A.S., Kobaliya T.L. *Legkie metallokonstruksii iz perekrestnykh ferm tipa «Pyatigorsk-2»* [Lightweight Metal Structures Made of Cross Trusses of “Pyatigorsk-2” Type]. *Sovremennaya nauka i innovatsii* [Modern Science and Innovation]. 2014, no. 2, pp. 27–35. (In Russian)
5. Inzhutov I.S., Dmitriev P.A., Deordiev S.V., Zakharyuta V.V. *Analiz sushchestvuyushchikh uzlov sopryazheniya prostranstvennykh konstruksiy i razrabotka sborno-razbornogo uzlovogo elementa* [Analysis of Available Space Structure Joints and Design of Demountable Modular Joints]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 3, pp. 61–71. (In Russian)
6. Morozova D.V., Serova E.A. *Problema tekhniko-ekonomicheskogo obosnovaniya pri proektirovanii stykov metallicheskih konstruksiy* [The Problem of the Feasibility Study in respect of Design of Joints of Metal Structures]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 12, pp. 219–223. (In Russian)
7. Morozova D.V., Serova E.A. *Problematika issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya uzlov metallicheskih konstruksiy* [Problematics of Stress-Strain State in Units of Metal Structures]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 5, pp. 44–50. (In Russian)
8. Tushina V.M. *Perspektivy stroitel'stva dostupnogo zhil'ya na osnove stal'nykh karkasov* [Prospects of Affordable Housing Construction Based on Steel Frames]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2015, no. 6, pp. 43–46. (In Russian)
9. Podlipskiy A.A. *Stal'nye prutkovye konstruksii pokrytiy* [Steel Rod-Shaped Roof Structures]. Moscow, Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu i arkhitekture Publ., 1954, 144 p. (In Russian)
10. Marutyan A.S. *Patent 2554643 RU, MPK E04B 1/58. Nesushchaya konstruksiya s reshetkoy iz oval'noy truby* [Patent 2554643 RU, MPK E04B 1/58. Bearing Structure with a Lattice Made of Oval Tube]. Patent Holder A.S. Marutyan. No. 2014120023/03 ; appl. 19.05.2014 ; publ. 27.06.2015, bulletin no. 18. (In Russian)
11. *Rukovodstvo po proektirovaniyu stal'nykh konstruksiy iz gnutosvarnykh zamknutykh profily* [Manual on Design of Steel Structures Made of Closed Roll-Formed Sections]. Moscow, TsNIIproektstal'konstruksiya Publ., 1978, p. 24. (In Russian)
12. Gorev V.V., editor. *Metallicheskie konstruksii* [Metal Structures]. In 3 volumes. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2004, vol. 1. Elementy konstruksiy [Structural Elements]. P. 332. (In Russian)
13. GOST R 54157-2010. *Truby stal'nye profil'nye dlya metallokonstruksiy. Tekhnicheskie usloviya* [Russian State Standard GOST R 54157-2010. Steel Shaped Tubes for Metal Structures. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2011, pp. 55–61. (In Russian)
14. Nezhdanov K.K., Kuz'mishkin A.A., Rublikov S.G. *Novye effektivnye profili* [New Efficient Sections]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2005, no. 10, pp. 117–120. (In Russian)

15. Nezhdanov K.K., Tumanov V.A., Nezhdanov A.K., Rublikov S.G. Patent 2304479 RU, MPK B21D9/00. *Sposob povysheniya nesushchey sposobnosti tsilindricheskoy truby na izgib* [Patent 2304479 RU, MPK B21D9/00. Method of Increasing Bending Bearing Capacity of a Cylindrical Tube]. Patent holder PGUAS. No. 2005115787/02 ; appl. 24.05.2005 ; publ. 27.11.2006, Bulletin no. 33. (In Russian)
16. Umanskiy A.A., editor. *Spravochnik proektirovshchika promyshlennykh, zhilykh i obshchestvennykh zdaniy i sooruzheniy: Raschetno-teoreticheskiy* [Reference Book of a Designer of Industrial, Residential and Public Buildings and Structures: Design-Theoretical]. In 2 volumes. 2nd edition, revised and enlarged. Moscow, Stroyizdat Publ., 1972, book 1, p. 364. (In Russian)
17. Pisarenko G.S., Yakovlev A.P., Matveev V.V. *Spravochnik po soprotivleniyu materialov* [Reference Book on Strength of Materials]. 2nd edition, revised and enlarged. Kiev, Naukova dumka Publ., 1988, pp. 60–61. (In Russian)
18. *Sterzhni i uzlovye elementy sistemy MARKhI : TU 5285-001-47543297-09* [Rods and Nodes of the System MARKhI : TU 5285-001-47543297-09]. Moscow, OOO NPTs «Viktoriya» Publ., 2009, 61 p. (In Russian)
19. Packer J.A., Wardenier J., Zhao X.-L., van der Vegte G.J., Kurobane Y. Construction with Hollow Steel Sections. Design Guide for Rectangular Hollow Section (RHS) Joints under Predominantly Static Loading. CIDECT, 2009, p. 102. Available at: <http://212.150.245.105/shared/eBooks/DG3-eng-2nd-edt-version-02-12-09.pdf>.
20. Pokrovskiy A.A. Ob uchete zhestkostey uzlov v raschetakh ferm s elementami maloy gibkosti [Account for Joint Rigidity in Calculation of Trusses with Low-Flexibility Elements]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2011, no. 3, pp. 31–32. (In Russian)
21. Kuzin N.Ya. *Proektirovanie i raschet stal'nykh ferm pokrytiy promyshlennykh zdaniy* [Design and Calculation of Steel Roof Trusses of Industrial Buildings]. Moscow, ASV Publ., 1998, pp. 157–172. (In Russian)
22. Marutyan A.S. Optimizatsiya konstruktsey iz trubchatykh (gnutosvarnykh) profiley kvadratnykh (pryamougol'nykh) i rombicheskikh secheniy [Optimization of Structures Made of Tube (roll-formed) Sections with Square (Rectangular) and Rhombic Sections]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Structural Mechanics and Analysis of Constructions]. 2016, no. 1 (264), pp. 30–38. (In Russian)
23. Marutyan A.S. Stykovye soedineniya sterzhnevyykh elementov metallokonstruktsey [Butt Joints of Rod Elements of Metal Structures]. *Raschet i proektirovanie metallicheskiy konstruktsey : sbornik dokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu professora E.I. Beleni (g. Moskva 25 marta 2013 goda)* [Calculation and Design of Metal Structures : Collection of the Works of Science and Practice Conference Dedicated to 10th Anniversary of Professor E.I. Beleni (Moscow, March 25, 2013)]. Moscow, MGSU Publ., 2013, pp. 147–153. (In Russian)

About the authors: **Marutyan Aleksandr Surenovich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction, **the branch of North Caucasus State Technical University in Pyatigorsk (NCFU)**, 56 prospekt 40 let Oktyabrya, Pyatigorsk, 357500, Russian Federation; al_marut@mail.ru;

Orobinskaya Valeriya Nikolaevna — Candidate of Technical Sciences, leading research worker, Department of Planning and Organization of Research Work, **the branch of North Caucasus State Technical University in Pyatigorsk (NCFU)**, 56 prospekt 40 let Oktyabrya, Pyatigorsk, 357500, Russian Federation; orobinskaya.val@yandex.ru.

For citation: Marutyan A.S., Orobinskaya V.N. Optimizatsiya konstruktsey s reshetkami iz kruglykh i oval'nykh trub [Optimization of Constructions with Grates Made of Round and Oval Tubes]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2016, no. 10, pp. 45–57. (In Russian) DOI: 10.22227/1997-0935.2016.10.45-57