

УДК.624.014:624.074.4

Салахутдинов М.А. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: lider-kazann@yandex.ru

Кузнецов И.Л. – доктор технических наук, профессор

E-mail: kuz377@mail.ru

Саянов С.Ф. – студент

E-mail: sayanov-salavat@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Стальные фермы с поясами из труб многогранного сечения

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы применения в строительстве оцинкованных труб многогранного сечения в качестве поясов стропильных ферм. Авторами предлагаются новые решения многогранного сечения с образованием листовой фасонки. Для подтверждения возможности и эффективности применения многогранных сечений в качестве поясов ферм проведены исследования методами сравнительного анализа, компьютерного моделирования и вариантного проектирования. В результате исследований выявлены наиболее рациональные формы многогранных сечений, разработан сортамент, установлена эффективность их применения в качестве поясов стропильных ферм.

Ключевые слова: стальные фермы, многогранное сечение, листовая фасонка, цинковое покрытие, труба, опора линий электропередач, пояс фермы.

Наибольшее применение в строительстве покрытий зданий получили стальные фермы из гнутосварных профилей прямоугольного или квадратного сечения, так называемые конструкции типа «Молодечно» [1], изготавливаемые по серии 1.460.3. Их доминирующее применение продиктовано рядом положительных конструктивных качеств: рациональные формы поперечного сечения при работе на сжатие, возможность бесфасоночного соединения стержней решётки с использованием сварки, меньший периметр поверхности, следовательно, меньший расход лакокрасочных материалов и большая коррозионная стойкость [2]. Вместе с тем, указанные конструкции, обладая меньшим расходом стали, в ряде случаев уступают по стоимости легким фермам из прокатных профилей ввиду большей стоимости замкнутого гнутосварного профиля.

Авторами предлагается применять для поясов стропильных ферм технологию производства холодногнутого профиля многогранного поперечного сечения, которые широко используются в энергетическом строительстве в качестве опор линий электропередачи, светосигнального оборудования, ветрогенераторных установок (рис. 1), [3], [4], [5], [6] и т.п.



а)



б)

Рис. 1. Примеры опор многогранного сечения:
а) общий вид опоры освещения; б) процесс оцинковывания опор в ваннах

Преимуществом холодногнутых многогранных сечений является простота их изготовления путём многократного перегиба по длине листовой заготовки с последующей сваркой кромок (рис. 2, а). При этом можно изготавливать как постоянное сечение опор, так и переменное, задавая форму и размеры исходной заготовки. В решении [7] изменение площади сечения по длине достигается путём использования листовых заготовок переменной толщины.

Одним из преимуществ многогранных сечений является обязательный процесс их оцинкования после изготовления, что значительно повышает коррозионную стойкость. Согласно данным [8] применение оцинкованных стальных сечений многогранных опор позволяет снизить расход стали на 20 %, эксплуатационные затраты на 10 %, трудоёмкость изготовления и монтажа на 30 %.

Авторами предлагается, в отличие от известного решения (рис. 2 а), многогранное сечение образовывать перегибом по длине заготовки одной из кромок в обратном направлении и сварки по месту контакта, образуя фасонку по всей длине профиля для крепления стержней решётки (рис. 2 б). В случае изготовления многогранного сечения из оцинкованной стали отгибаются обе кромки, а замкнутое сечение образуется установкой стяжных болтов по длине (рис. 2 в). Предлагаемые сечения (рис. 2 б, в) рекомендуются в качестве поясов стропильных ферм.

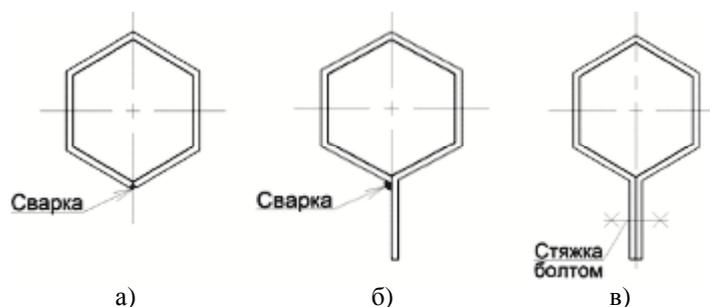


Рис. 2. Примеры многогранных сечений:

- а) трубы, используемые для изготовления опор;
- б) сечение с использованием сварки для поясов ферм;
- в) сечение поясов ферм для сборки на болтах

Для подтверждения возможности и эффективности применения многогранных сечений в качестве поясов ферм проведен сравнительный анализ многогранных сечений с обычными стержнями из круглых, квадратных труб и уголков. Для этого панель верхнего пояса фермы с расчетной длиной в плоскости $l = 3$ м и внутренними усилиями $N = 412$ кН и $M = 16,7$ кН·м, для класса стали С255 рассчитана при различных вариантах поперечных сечений. По подобранным сечениям определена масса одной панели фермы. Из таблицы видно, что наименьший вес достигается для многогранного сечения треугольного очертания. При этом принималось, что устойчивость из плоскости обеспечена за счет укладки и крепления профилированного настила.

Таблица

Наименование поперечного сечения	Круглая труба	Кв. труба	Спаренные уголки	7-гранник	Треугольное сечение
Эскиз					
Площадь поперечного сечения, см ²	26,75	25,67	31,2	26,25	24,6
Нормальные напряжения в сечении, кН/см ²	17,74	19,4	21,8	18,53	17,32
Масса одной панели верхнего пояса фермы, кг	63,0	60,45	73,5	61,97	58,05

Для определения рационального типа сечения многогранного профиля необходимо выполнить их сравнительный анализ. Исследуется несколько видов многогранников вписанных в окружность и описанных окружностью, разрабатываются варианты сечений с листовой фасонкой (рис. 3) и сортамент, аналогичный сортаменту для круглых труб.

В ходе сравнительного анализа полученных геометрических характеристик многогранного сечения и круглой трубы установлено, что наибольший эффект достигается для сечения с листовой фасонкой. При этом увеличение массы 1 погонного метра на 5-10 % компенсируется увеличением моментов инерции и сопротивления на 20-30 %. Таким образом, наиболее рациональным для строительных конструкций, в частности для верхних и нижних поясов стальных стропильных ферм, является многогранное сечение с листовой фасонкой, выполняющей роль как усиливающего элемента, в том числе и на внеузловую нагрузку, так и элемента для крепления решетки стропильной конструкции.

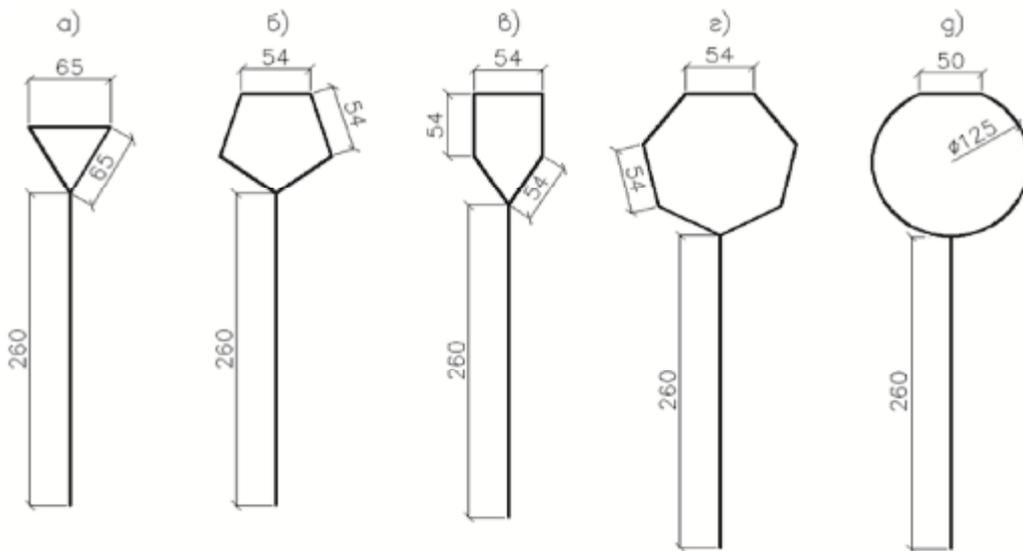


Рис. 3. Варианты многогранных сечений и круглой трубы с листовой фасонкой: а) треугольник; б) 5-гранник (вариант 1); в) 5-гранник (вариант 2); г) 7-гранник; д) круг

Для подтверждения возможности и эффективности применения многогранных сечений в качестве поясов ферм проведен сравнительный анализ вариантов сечений с листовой фасонкой с применением программного комплекса, основанной на методе конечных элементов. Задаем расчетной схемой пояса фермы для трёх вариантов загрузок: центрального сжатия, сжатия с изгибом, растяжения (рис. 4). Варьируемым параметром является форма поперечного сечения пояса фермы.

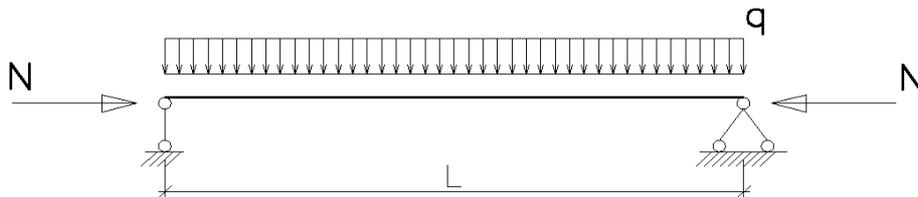
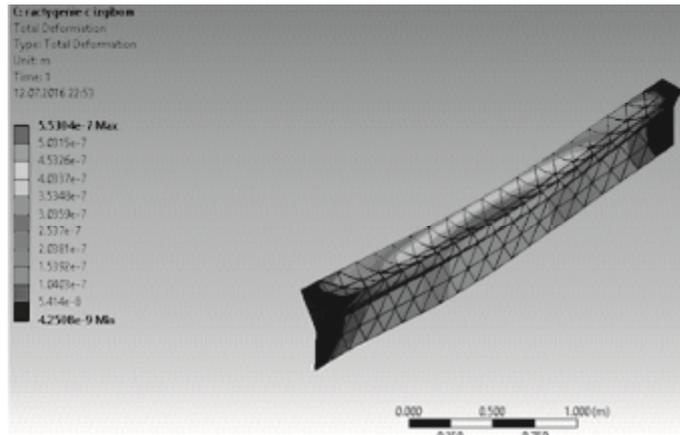
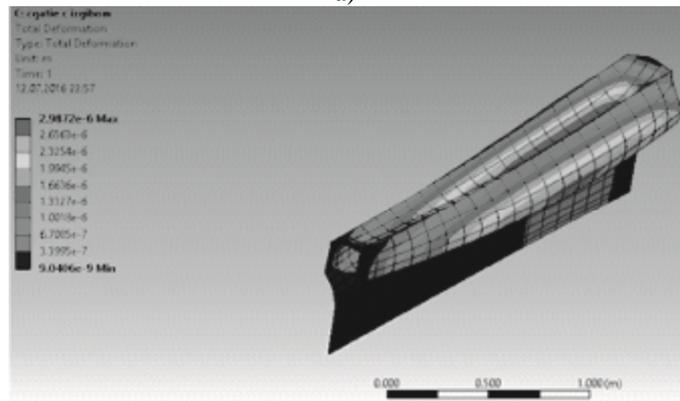


Рис. 4. Расчетная схемы пояса фермы для случая сжатия с изгибом сжатие с изгибом, где N – продольная сила (кН), q – равномерно-распределенная нагрузка (кН/м), L – расчетная длина пояса фермы

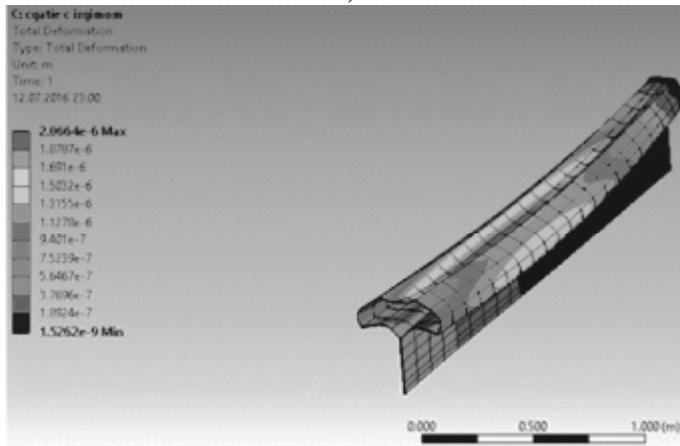
Результаты компьютерного моделирования вариантов многогранных сечений и круглой трубы для случая сжатия с изгибом приведены на рис. 5.



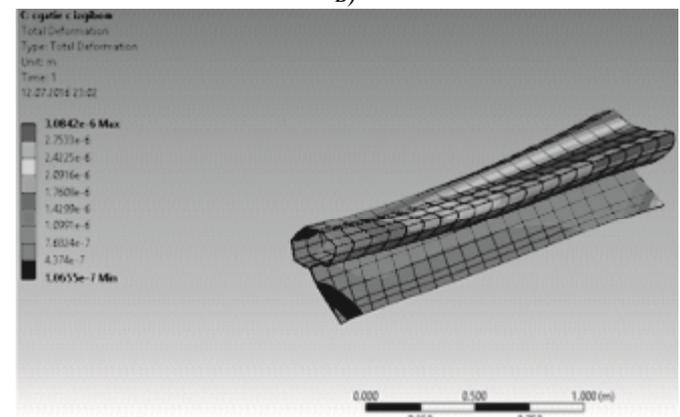
а)



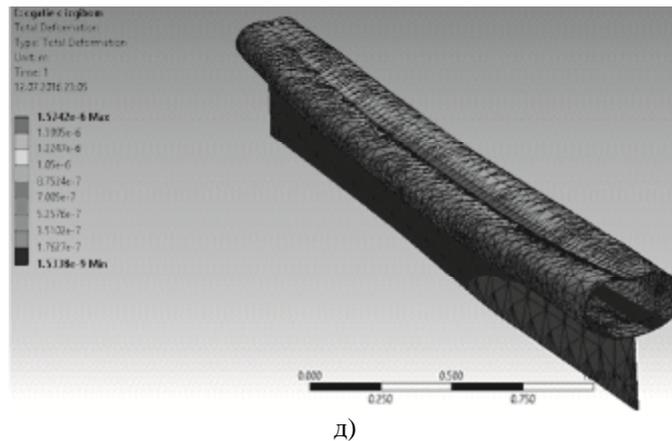
б)



в)



г)



д)

Рис. 5. Деформированные схемы в случае сжатия с изгибом для следующих сечений: а) треугольник; б) 5-гранник (вариант 1); в) 5-гранник (вариант 2); г) 7-гранник; д) круг

В результате компьютерного моделирования установлено, что наименьшие деформации возникают в случае треугольного сечения, далее круглого и 5-гранного (вариант 2) соответственно (рис. 3 а, д, в). Из этого следует, что для дальнейших исследований можно ограничить область геометрических форм многогранных сечений.

На основании проведенного анализа рассмотренных многогранных сечений предлагаются конструктивные решения стропильных ферм с поясами из многогранных оцинкованных труб переменного по длине сечения, а решётка – из оцинкованных профилей постоянного по длине открытого сечения, прикрепляемых к фасонкам на болтах. При изготовлении многогранной трубы кромки листовой заготовки отгибаются для образования фасонки, в которой выполняются отверстия для крепления элементов решётки. После гибки и сверления элементы фермы оцинковываются в ваннах и отправляются на строительную площадку. На рис. 6 приведены примеры конструирования стропильных ферм из труб многогранного сечения пролетом 18 м.

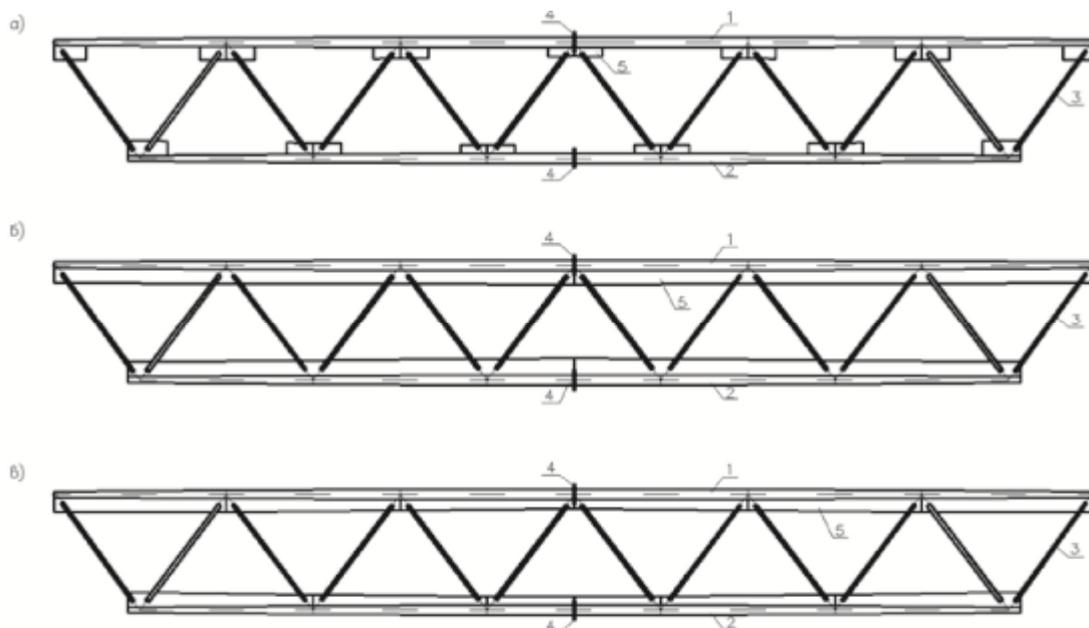


Рис. 6. Пример конструирования стропильной фермы:
 а) ферма с узловыми фасонками, б) ферма со сплошной по длине листовой фасонкой,
 в) ферма с переменной по длине листовой фасонкой:
 1 – верхний пояс, 2 – нижний пояс, 3 – элементы решетки,
 4 – фланец укрупнительного стыка, 5 – листовая фасонка

В ходе анализа разрабатываемых конструктивных решений стропильных ферм с поясами из многогранных сечений установлено, что данный подход позволяет снизить расход стали на фермы до 15 %, повысить технологичность изготовления и монтажа ферм, вместе с тем сократить эксплуатационные затраты на периодическую антикоррозионную обработку конструкций. Также достигается усиление поясов ферм из многогранного сечения от внецентренного нагружения (при отсутствии прогонов) за счёт фасонки по всей длине пояса, при этом, имеется возможность транспортирования готовых изделий в «пакетном» виде непосредственно на строительную площадку.

Список библиографических ссылок

1. Стальные конструкции покрытий производственных зданий пролетами 18, 24 и 30 м с применением замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения типа «Молодечно». Чертежи «КМ». Серия 1.460.3-14/90. Выпуск 3. – М.: 1982. – 136 с.
2. Трофимов В.И., Каминский В.И. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений. – М.: Наука, 1997. – 592 с.
3. Стальная многогранная опора ЛЭП: пат. 2248434 Рос. Федерация. № 2003134575/03; заявл. 28.11.2003; опубл. 20.03.2005. – 4 с.
4. Кузнецов И.Л., Хамидуллин И.Н., Сабитов Л.С. К вопросу о рациональности применения опор линий электропередачи из многогранных гнутых стоек // Энергетика Татарстана, 2014, № 1. – С. 43-47.
5. Стойка опоры воздушной линии электропередачи: пат. 2450110 Рос. Федерация. № 2010127105/03; заявл. 01.07.2010; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 13. – 9 с.
6. Длинномерная несущая конструкция стойка опоры линии электропередачи: пат. 2347049 Рос. Федерация. № 2007118190/03; заявл. 16.05.2007; опубл. 20.02.2009. – 4 с.
7. Способ изготовления стальной опоры многогранного сечения: пат. 2556603 Рос. Федерация. № 2014121172/03; заявл. 26.05.2014; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 19. – 5 с.
8. URL: <http://alfa-opora.ru/> (дата обращения: 11.05.2016).

Salakhoutdinov M.A. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: lider-kazann@yandex.ru

Kuznetsov I.L. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: kuz377@mail.ru

Sayanov S.F. – post-graduate student

E-mail: sayanov-salavat@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Steel truss with chords of multi-faceted cross-section tubes

Resume

Most popular structures of steel trusses in some cases do not have an economic efficiency including maintenance costs. Nowadays, steel multi-faceted cross-section supports of power line have found wide uses in the power industry.

This article is about using of galvanized multi-faceted cross-section tubes as chords of steel trusses. The authors offer new solutions of multi-faceted cross-section to form a joint plate. The article considers the search of the most rational shape of multi-faceted cross-section. The authors propose constructive solutions of trusses with chords from multi-faceted galvanized tubes of variable section along the length, and braces from galvanized profiles of constant section along the length which attached by bolts to the joint plate.

To confirm the possibilities and efficiency of multi-faceted cross-sections in chords of trusses, by the methods of comparative analysis, computer simulation and variant design carried out researches. As a result of research the most rational form of multi-faceted sections, designed assortment, set the efficiency of their use as a chord of trusses are found.

Keywords: steel trusses, multi-faceted cross-section, joint plate, galvanize surfaces, tube, supports of power line, chord of truss.

Reference list

1. Steel constructions of covering of industrial 18, 24 and 30 span buildings with application of rectangular section by type «Molodechno» from closed roll-welded profiles. Drawings МК. Series 1.460.3-14/90. Publication 3. – М., 1982. – 136 p.
2. Trofimov V.I., Kaminsky A.M. Light metal constructions of buildings and structures. – М.: Science, 1997. – 592 p.
3. Steel multi-faceted cross-section support of power line: patent 2248434 of the Russian Federation. № 2003134575/03; It is declared 28.11.2003; it is published 20.03.2005. – 4 p.
4. Kuznetsov I.L., Khamidullin I.N., Sabitov L.S. To a question of rationality application support power lines from many-sided bent racks // Power industry of Tatarstan, 2014, № 1. – P. 43-47.
5. Tower body of overhead transmission line: patent 2450110 of the Russian Federation. № 2010127105/03; It is declared 01.07.2010; it is published 10.05.2012. The bullet in № 13. – 9 p.
6. A lengthy load-bearing structure support stand for power transmission line: patent 2347049 of the Russian Federation. № 2007118190/03; It is declared 16.05.2007; it is published 20.02.2009. – 4 p.
7. A method of making steel support of multi-faceted cross-section: patent 2556603 of the Russian Federation. № 2014121172/03; It is declared 26.05.2014; it is published 10.07.2015. The bullet in № 19. – 5 p.
8. URL: <http://alfa-opora.ru/> (reference date: 11.05.2016).